長野県神城断層地震調査報告（速報）

被害が大きい堀之内地区でみられたマンホールの浮き上がり

平成 26 年 12 月

応用アール・エム・エス株式会社

目　次

１　はじめに ―――――――― 1

２　地震の特徴 ―――――――― 2

３　被害についての検討 ―――――――― 10

４　現地調査 ―――――――― 16

４－１　調査概要 ―――――――― 16

４－２　地点別被害調査報告 ―――――――― 18

４－３　常時微動観測 ―――――――― 32

４－４　堀之内地区、三日市場地区の被害分布 ―――――――― 40

５　まとめ ―――――――― 43

謝辞 ―――――――― 44

－著作権および免責－

本報告書の著作権は、すべて OYORMS に帰属します。OYORMS の書面による事前の許諾のない限り、本報告書の全部・一部を問わず複写・転載・翻案・翻訳・改編もしくは磁気媒体・光ディスクへの入力等の二次的利用を禁じます。

本報告書の使用に起因して本報告書使用者または第三者に発生しうる損害賠償責任等その他一切の法的問題から OYORMS およびその関係会社・従業員は免責されます。

１．はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震やその直後に発生した余震や誘発地震の後の３年間は建物が完全に倒壊するような大きな地震は国内で発生していませんでした。ところが、去る 2014 年 11 月 22 日に発生した M6.7 の長野県神城断層地震では、白馬村堀之内地区、三日市場地区で複数の倒壊建物が発生しました。狭いエリアながら、地震の揺れによりまとまった倒壊建物が発生する状況は、最近ではあまり見たことがない光景です。東北地方太平洋沖地震でも、地震の揺れにより住宅がまとまって倒壊するような場所は見かけなかったように思います。

そこで、倒壊建物が発生した白馬村堀之内地区、三日市場地区が実際にどのような状況なのか、逆に報道されていない地域ではどの程度の被害となっているのか、被害が発生している場所と被害が発生していない場所の表層地盤の揺れの特性はどうなっているのかを確認するため、弊社では地震から５日後に現地に人員を派遣して調査を実施しました。

わずか半日足らずの極めて短期間の調査であり、十分な調査と言うことはできません。特に建物の外観調査を実施しましたが、建築の専門外の者が短時間で実施したため、建物によっては罹災証明の結果とはかなり食い違う結果となることが予想されます。したがって、結果については参考程度にとどめておいていただければ幸いです。

本報告は、長野県神城断層地震について、公表されている資料・データをもとに地震動や被害を解析的に検討した内容および現地調査結果をとりまとめた内容となっています。内容的に詳細な説明を省いておりますので、専門家からすると説明不足と感じる部分が多々あるかと思いますがご容赦願います。本書が多少なりとも、長野県神城断層地震に関する知見としてみなさんの理解の一助となれば幸いです。

最後に、この地震の被災者の方々には謹んでお見舞い申し上げます。また、現地調査において被災地でご協力していただいた方々にはこの場を借りて御礼申し上げます。

２． 地震の特徴

（１）震源の特徴

本震は 2014 年 11 月 22 日 22 時 8 分頃に長野県北部の浅い地殻内で発生しました。地震の規模を示す気象庁マグニチュードは M6.7（モーメントマグニチュード Mw6.3）であり、そのメカニズムは北西－南東方向に圧力軸を持つ逆断層型と解析されています（図２－１参照）。そして断層出現地点の状況から、断層東側がせり上がる逆断層となっていることが分かりました。また、この地震の余震域は糸魚川－静岡構造線断層帯北部の神城断層に沿って分布している（図２－２参照）ことから、神城断層の一部が動いたと考えられています。そこで、長野県はこの地震を「長野県神城断層地震」と命名しました。

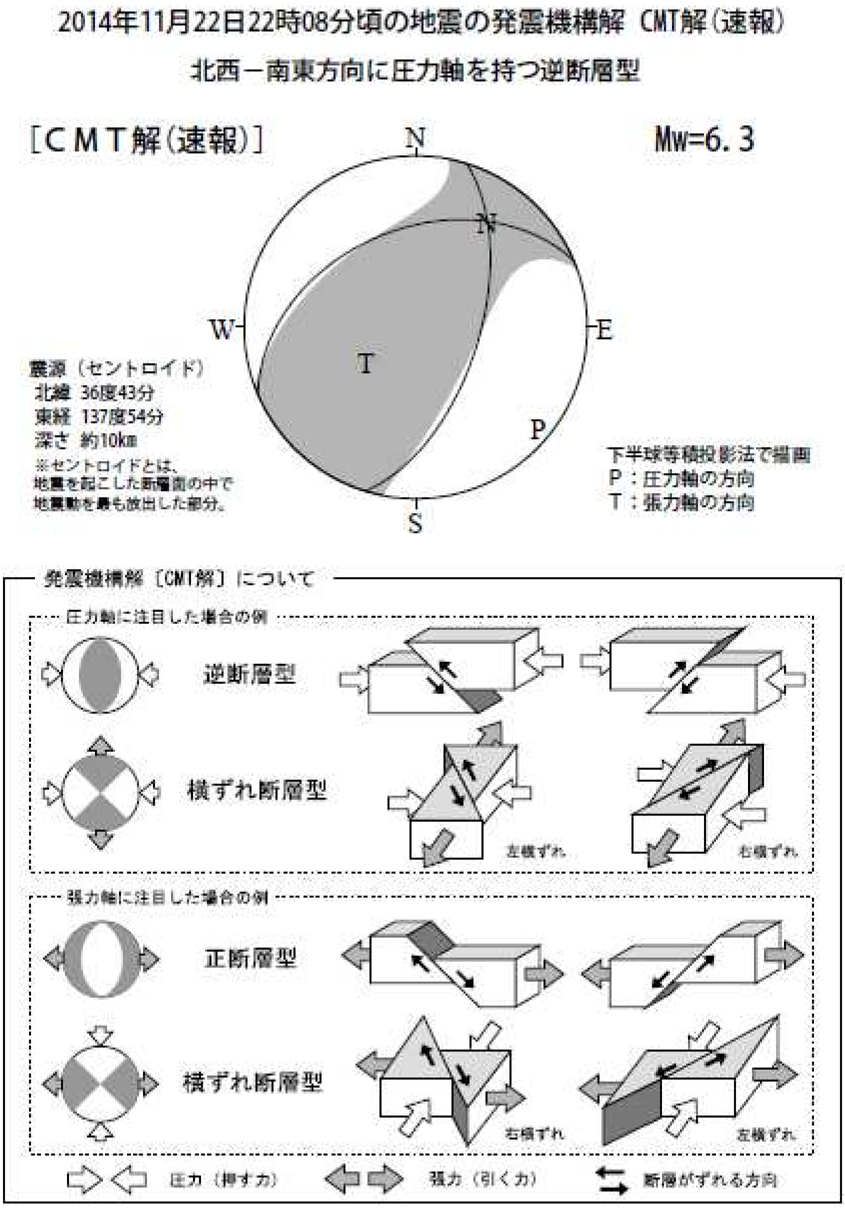


図２－１ 気象庁による本震の発震機構（メカニズム）（気象庁報道発表資料による）

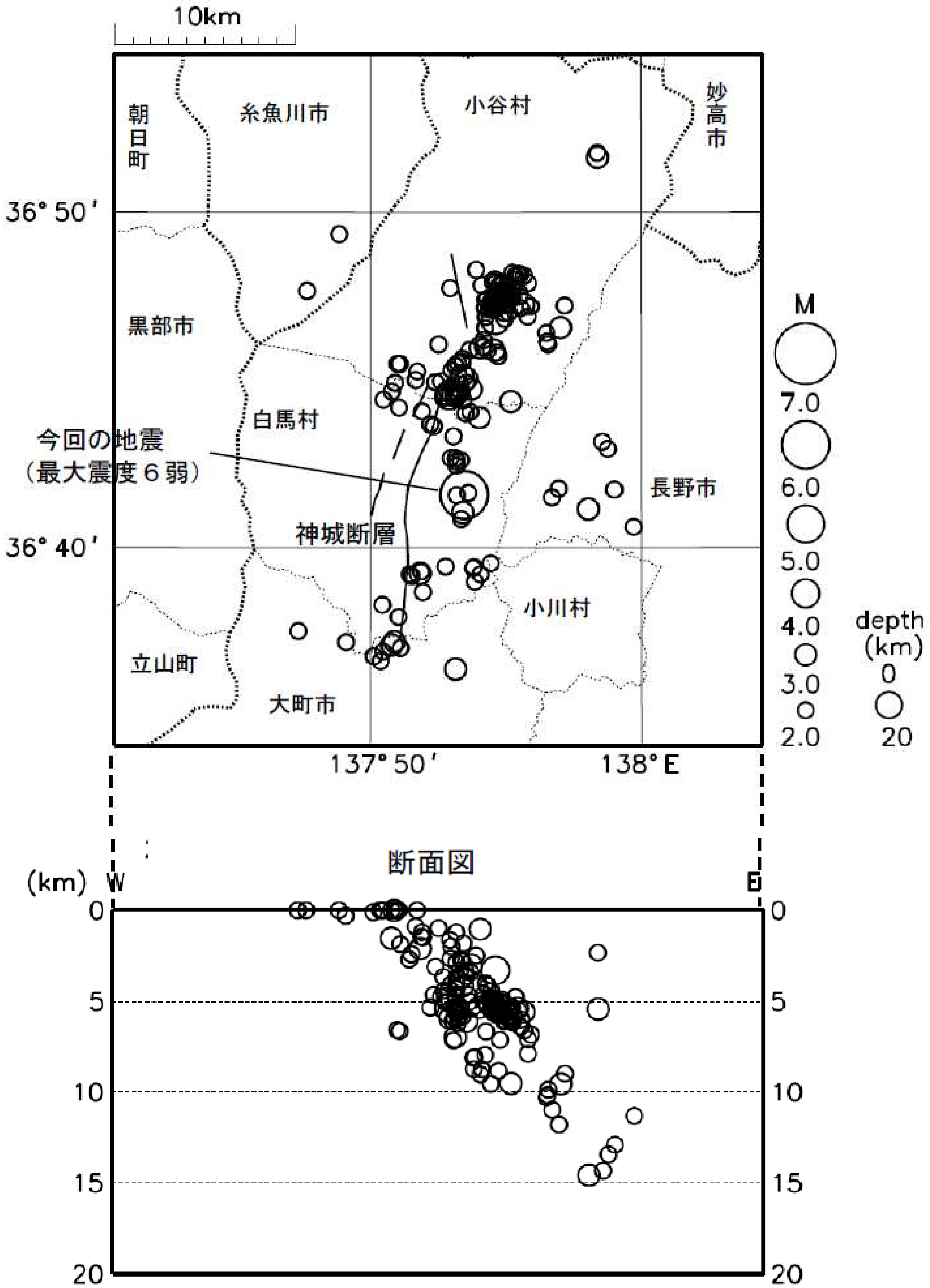


図２－２　本震発生から 11 月 27 日 8 時までの本震および余震の分布（気象庁報道発表資料による）

（２）地震動の特徴

気象庁による本震の観測点の震度分布を図２－３に示します。観測された最大震度は６弱で、長野市戸隠、長野市鬼無里、小谷村中小谷、小川村高府の４地点で記録しました。

詳細に検討するために、本震による防災科学技術研究所の K-NET、KiK-net の観測点の波形をダウンロードし、波形の特徴や地震動分布を調べてみました。

震源に近く、防災科学技術研究所の観測点の中では地震動が最も大きい K-NET 白馬（震度５強相当）の加速度波形を図２－４に示します。最大加速度はＮＳ成分が 570gal、ＥＷ成分が 219gal、ＵＤ成分が 278gal でした。周期特性をみるために水平２成分の波形から水平動の擬似速度応答スペクトルを計算し、参考までに、内陸地震の断層近傍で住宅の被害が大きかった 1995 年兵庫県南部地震の鷹取駅（震度６強相当）と 2004 年新潟県中越地震の川口町川口地点（震度７相当）のスペクトルと比較しました（図２－５参照)。K-NET 白馬のスペクトルは 0.4～0.5 秒にピークがみられますが、そのレベルはほぼ全周期帯で鷹取駅と川口町川口のレベルを下回っており、特に住宅全壊に相関が高いとされている１～２秒の周期帯では大きく下回っています。

次に K-NET、KiK-net の観測点の波形から空間補間法により 1km メッシュ単位で地震動分布を推定しました。表層地盤の影響は微地形区分に基づき、簡易に評価しています。図２－６に震度分布、図２－７に最大速度分布を示します。本震の震源断層は、地震調査推進本部による神城断層のパラメータと余震域の大きさから独自に設定しました。

この結果によると、断層に沿って白馬村～小谷村にかけて、震度６弱、50～100kine の南北の帯の分布がみられています。ただし、家屋倒壊が集中して発生した白馬村堀之内地区、三日市場地区は白馬村の南部に位置し、震度６弱、50～100kine の分布からは外れています。

また、地震動分布の全体的な特徴として震源断層から上盤側の北東部に相対的に地震動が強い地域がみられていますが、この分布は深部地盤の増幅に相関が高いとされるＳ波速度 Vs1400m 相当層の上面深度の深い地域（図２－８参照）と概ね対応しています。

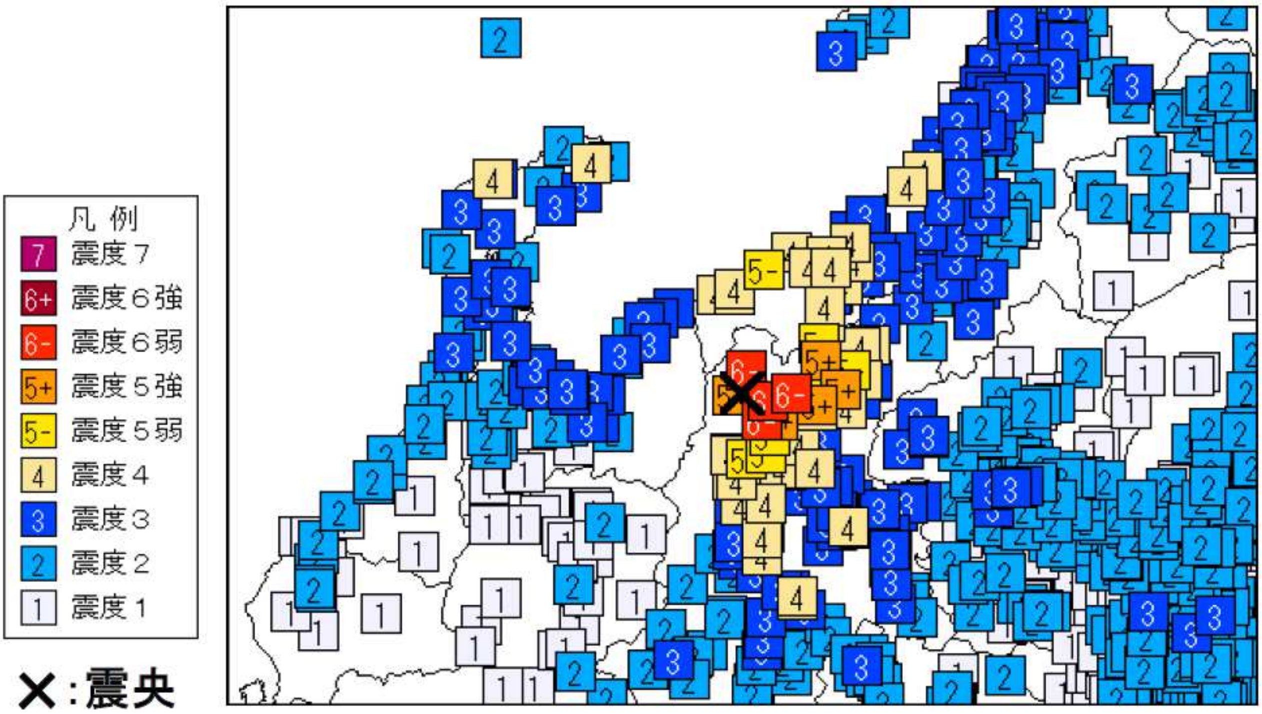


図２－３　気象庁観測点による本震の震度分布図（気象庁報道発表資料による）

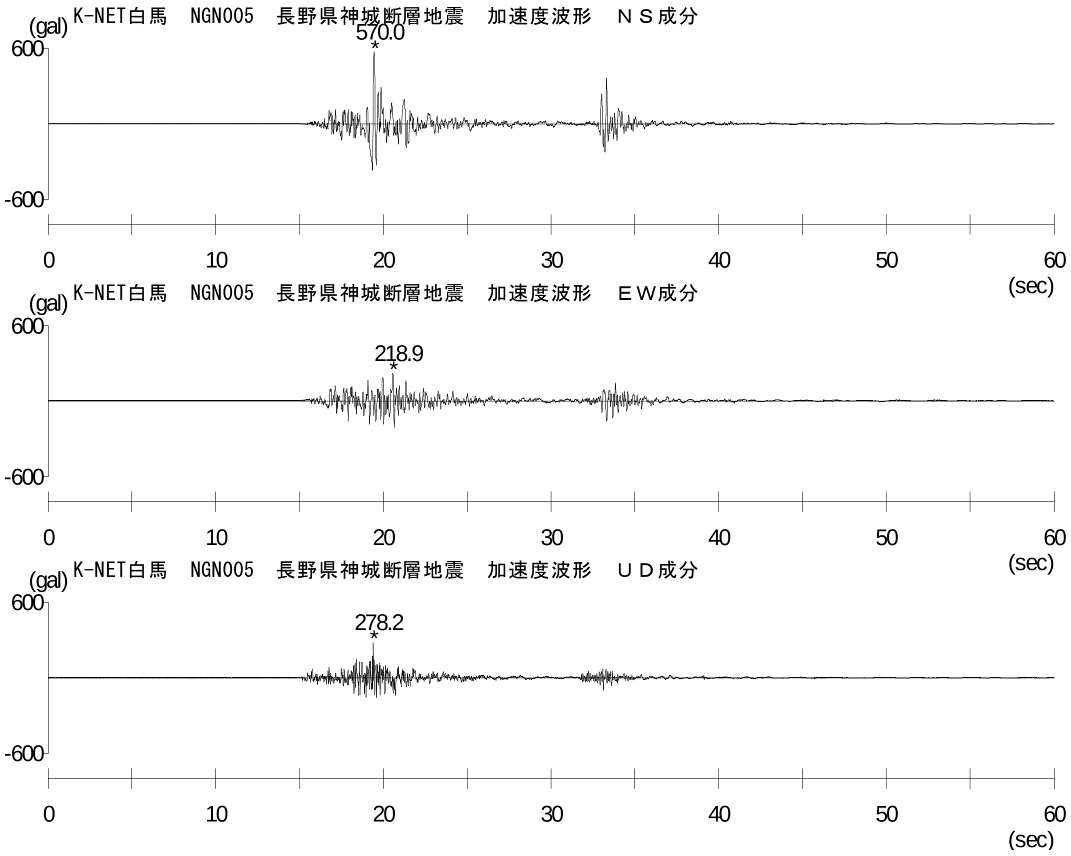


図２－４　K-NET 白馬(NGN005)観測点における本震の３成分の加速度波形

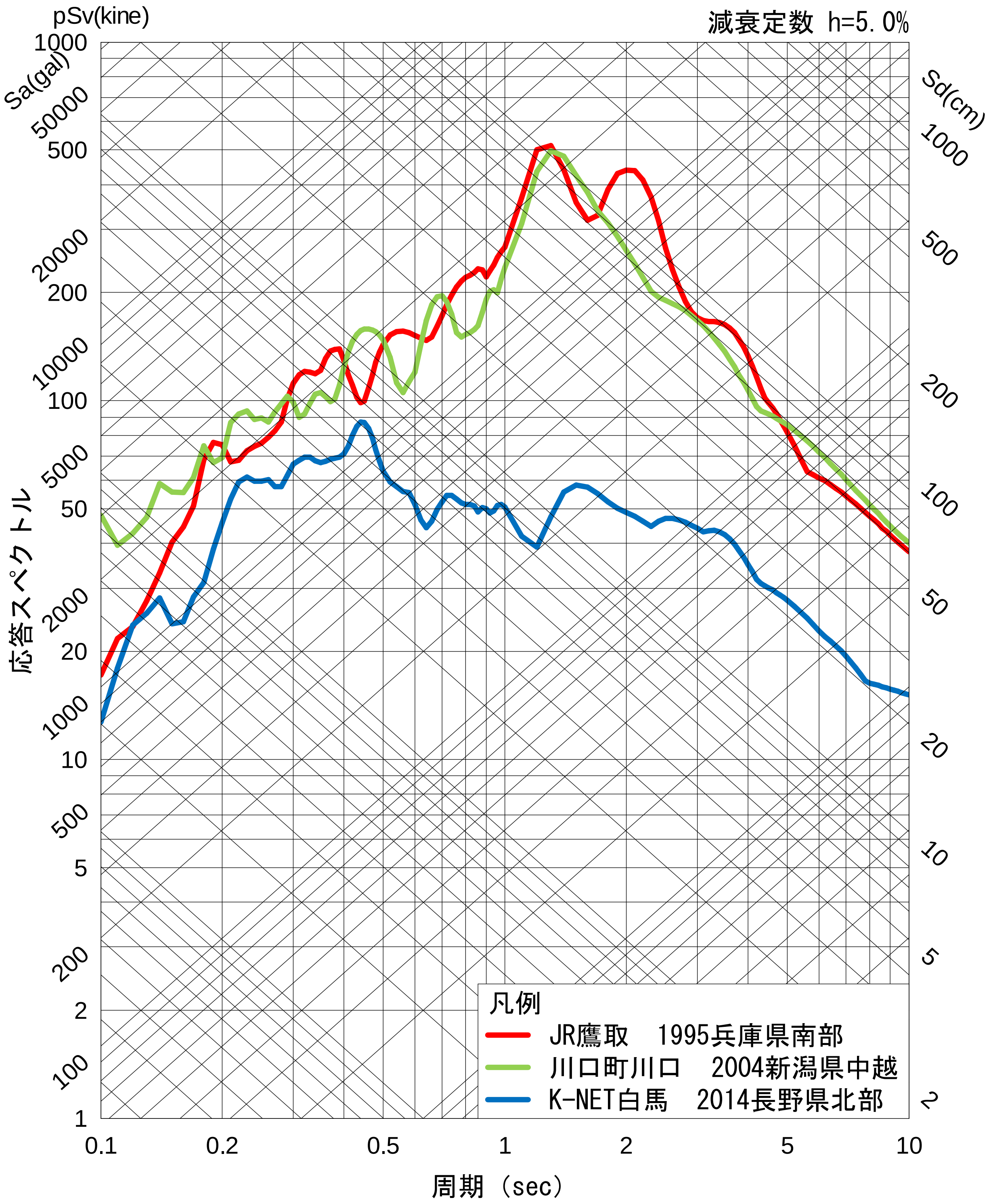


図２－５ 本震の K-NET 白馬と過去の被害地震の強震観測点との水平動の擬似速度応答スペクトルの比較

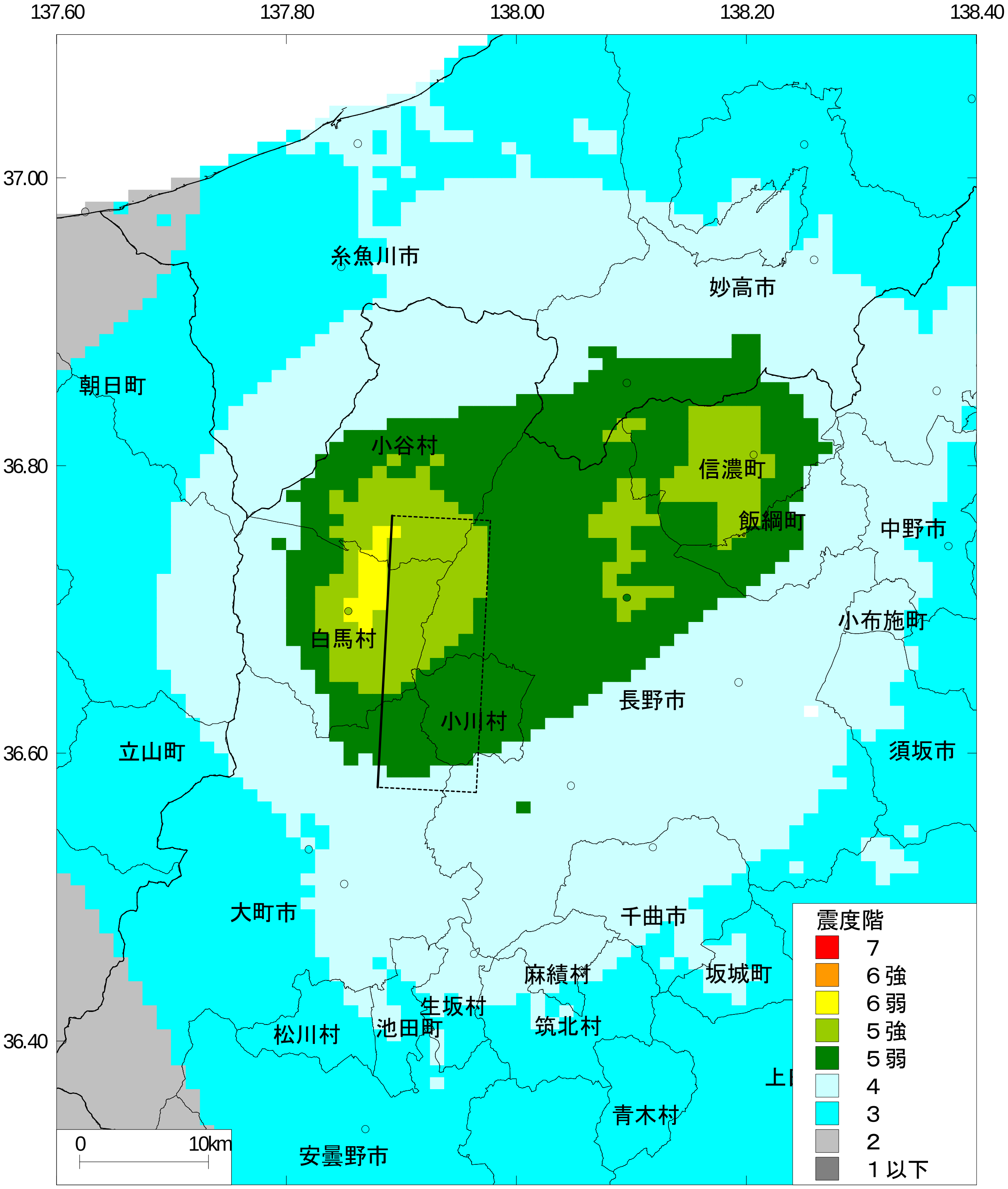


図２－６　推定した長野県神城断層地震の震度分布

（○は強震観測点の震度）

＊震源断層は地震規模や余震域から独自に設定したものです。

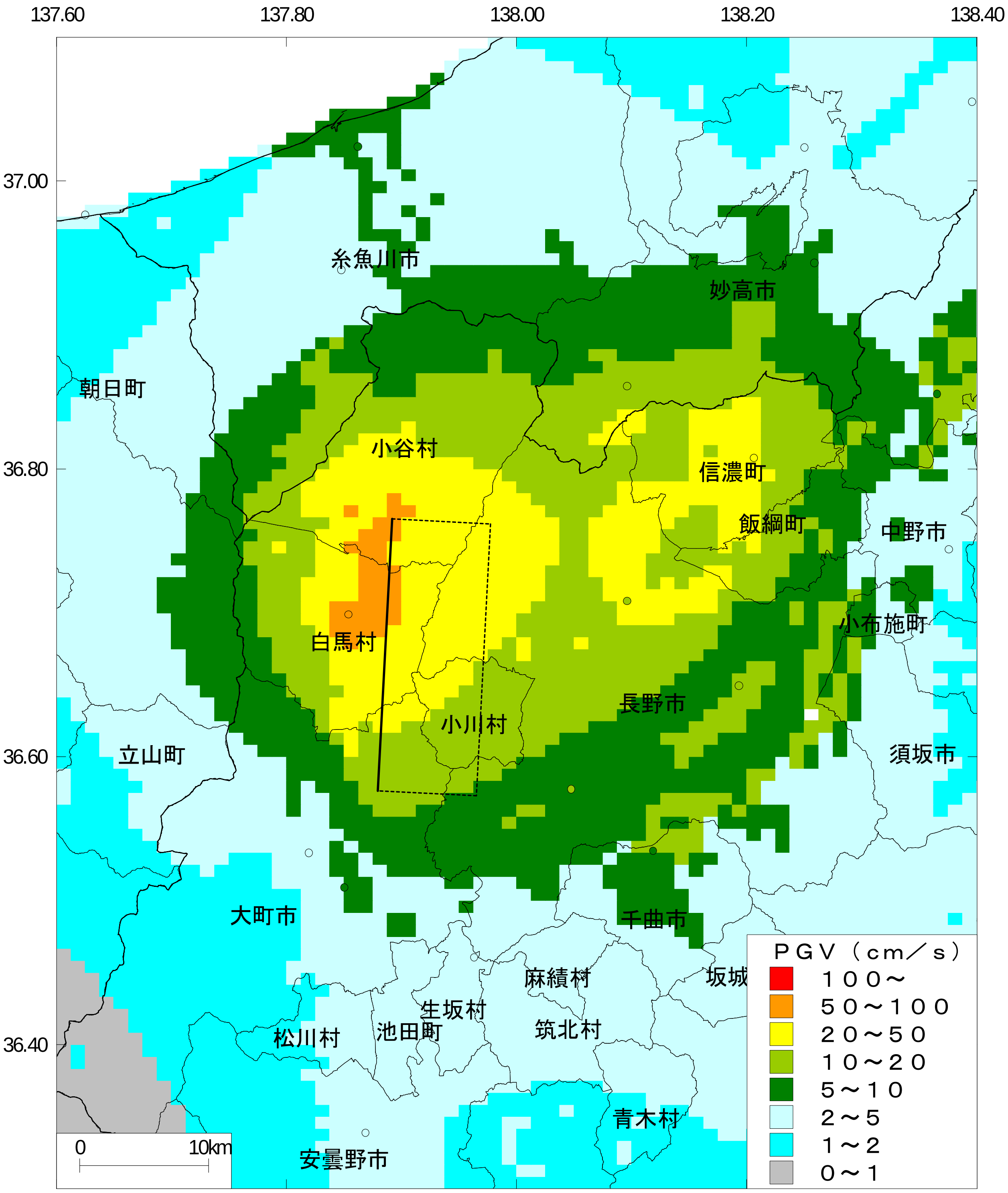


図２－６　推定した長野県神城断層地震の最大速度(PGV)分布
(○は強震観測点の最大速度)

*震源断層は地震規模や余震域から独自に設定したものです。

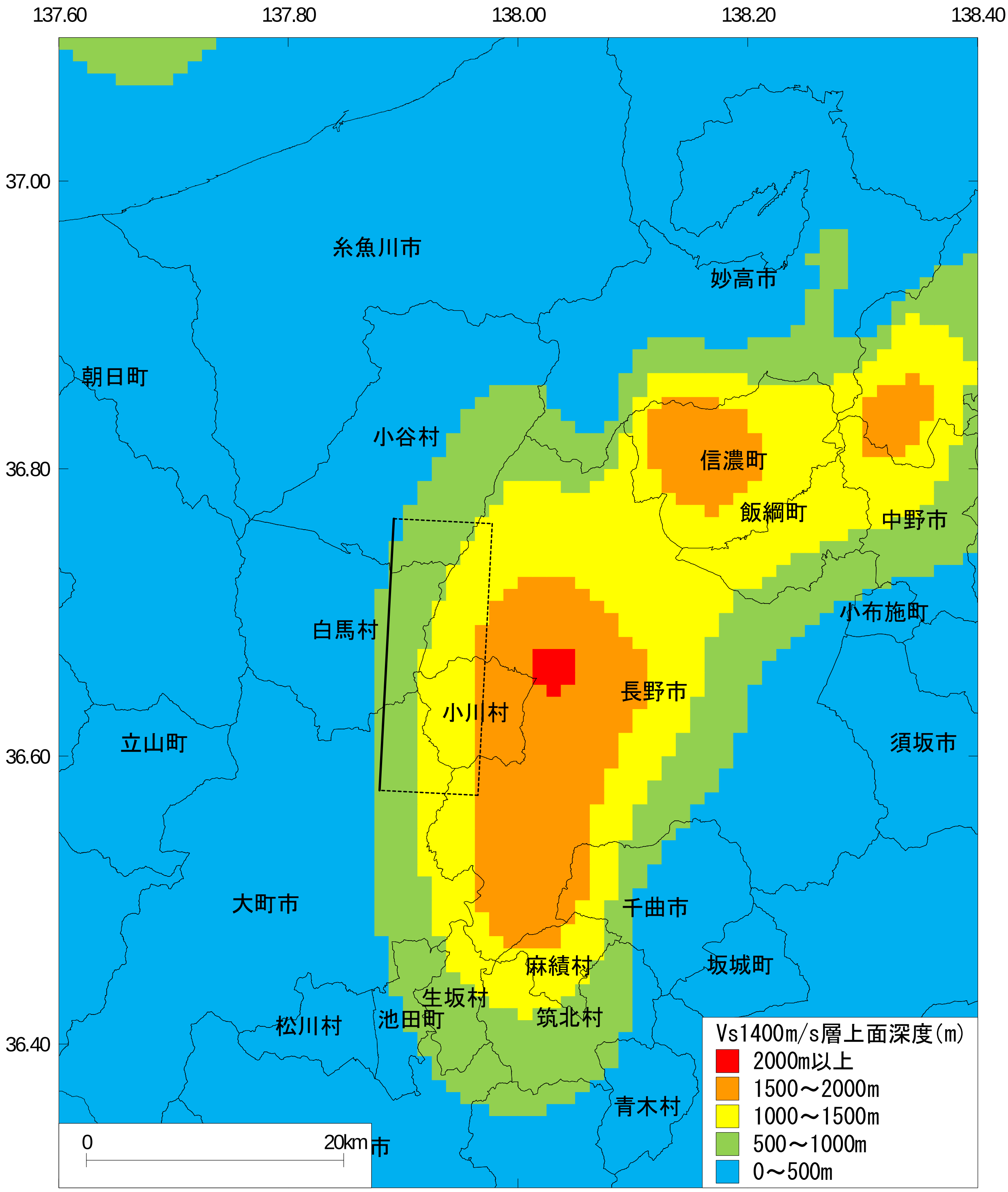


図２－６　Ｓ波速度 Vs1400m/s 相当層上面の深度分布
（防災科学技術研究所による地震ハザードステーション J-SHIS のデータより設定）

＊震源断層は地震規模や余震域から独自に設定したものです。

３．被害についての検討

（１）被害概況

消防庁災害情報による市町村別の主要な被害の一覧を表３－１に示します。2014 年 12 月 1 日 13:30 現在で、地震全体で重傷 10 人、軽傷 36 人、住家全壊 36 棟、住家半壊 66 棟、住家一部破損 1,000 棟の被害が発生しています。住家全壊が 30 棟以上発生し、倒壊した家屋も複数含まれていますが、幸いなことに死者は発生しませんでした。

市町村別にみると、最も大きな被害が発生したのは、震源断層が縦断していると推定される白馬村で重傷４人、住家全壊 27 棟の被害が発生しています。

表３－１　長野県神城断層地震の市町村別被害一覧

県名	市町村名	人的被害		住家被害		
		重傷（人）	軽傷（人）	全壊（棟）	半壊（棟）	一部破損（棟）
長野県	長野市	2	10	3	12	665
	松本市	ー	ー	ー	ー	1
	岡谷市	ー	ー	ー	ー	1
	中野市	ー	ー	ー	ー	5
	大町市	ー	2	ー	5	54
	飯山市	ー	ー	ー	ー	1
	松川村	1	ー	ー	ー	ー
	白馬村	4	19	27	17	55
	小谷村	3	1	6	27	ー
	信濃町	ー	1	ー	ー	ー
	小川村	ー	1	ー	4	206
	飯綱町	ー	2	ー	ー	10
新潟県	糸魚川市	ー	ー	ー	1	2
合　計		10	36	36	66	1,000

＊消防庁災害情報「長野県北部を震源とする地震（第 18 報）」による（2014 年 12 月 1 日 13:30 現在）

（２）面的な木造住家被害予測

２．で推定した地震動分布を用いて、木造住家を対象に全壊、半壊の被害を 1km メッシュ単位で予測し、その結果を集計しました。木造住家のデータはやや古いですが「2005 年国勢調査メッシュ統計」と「2008 年住宅・土地統計調査」より 1km メッシュ単位で建築年代別棟数を推定したものを使用しています。被害関数は、全国平均の耐力分布に基づく建築年代別の全壊率関数、全半壊率関数を用いています。なお、被害関数に用いる地震動指標は、地震動特性等の指標による違いの影響を考慮し、計測震度と最大速度の被害関数を設定し、２つの地震動指標で計算を行いました。その市町村別の集計結果を被害実数とともに表３－２に示します。

地震全体の被害実数は、計測震度による予測値と最大速度による予測値の間にあり、計測震度による予測値は過小評価、最大速度による予測値は過大評価となっています。計測震度による予測値の住家全壊棟数分布を図３－３、最大速度による予測値の住家全壊棟数分布を図３－４に示します。

その結果によると住家全壊が発生する可能性のある市町村は、白馬村、小谷村、長野市、信濃町となっており、実際に住家全壊が発生した市町村は白馬村、小谷村、長野市となっていますので概ね対応しています。しかしながら、白馬村内の被害分布に着目しますと被害は中心部から北部にかけて発生する予測結果となっているのに対し、実際に被害が集中して発生した堀之内地区、三日市場地区は白馬村の南部に位置していますので、被害分布としては食い違っていることが分かります。

表３－２　震源断層周辺の市町村別の木造住宅の全壊棟数、半壊棟数の予測値と被害実数の比較

市町村名	予測値				被害実数	
	計測震度		最大速度			
	全壊棟数	半壊棟数	全壊棟数	半壊棟数	全壊棟数	半壊棟数
糸魚川市	0	0	0	0	0	1
妙高市	0	0	0	0	0	0
長野市	0	1	0	3	3	12
大町市	0	0	0	0	0	5
北安曇郡白馬村	5	36	86	240	27	17
北安曇郡小谷村	1	7	25	71	6	27
上水内郡小川村	0	0	0	0	0	4
上水内郡信濃町	0	6	1	6	0	0
上水内郡飯綱町	0	0	0	0	0	0
合　計	7	50	112	319	36	66

＊予測値は小数点以下の数値となっているため、合計が合わないことがあります。

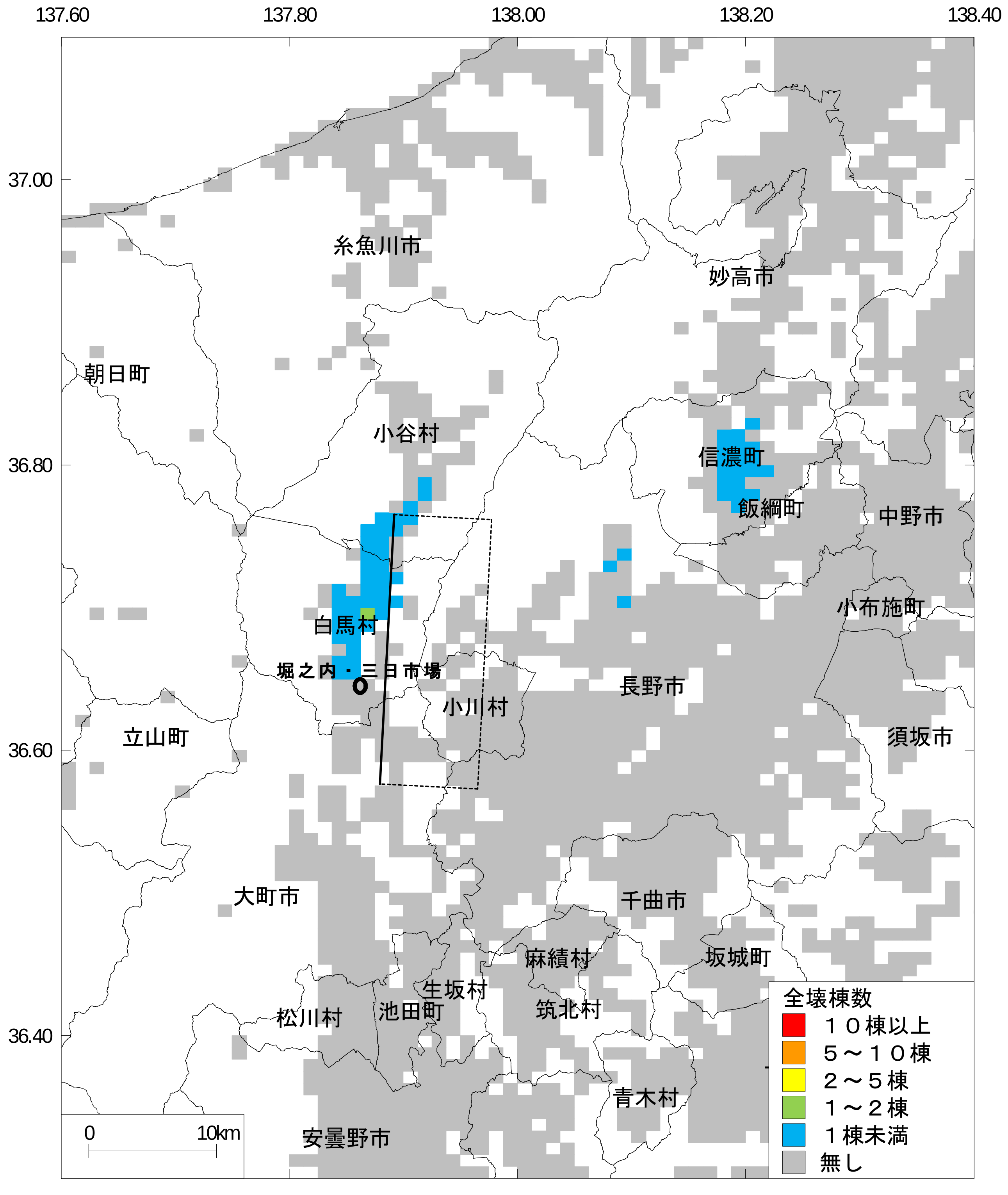


図３－１　本震の震度分布から推定した1kmメッシュ別の木造住家の全壊棟数分布

*震源断層は地震規模や余震域から独自に設定したものです。

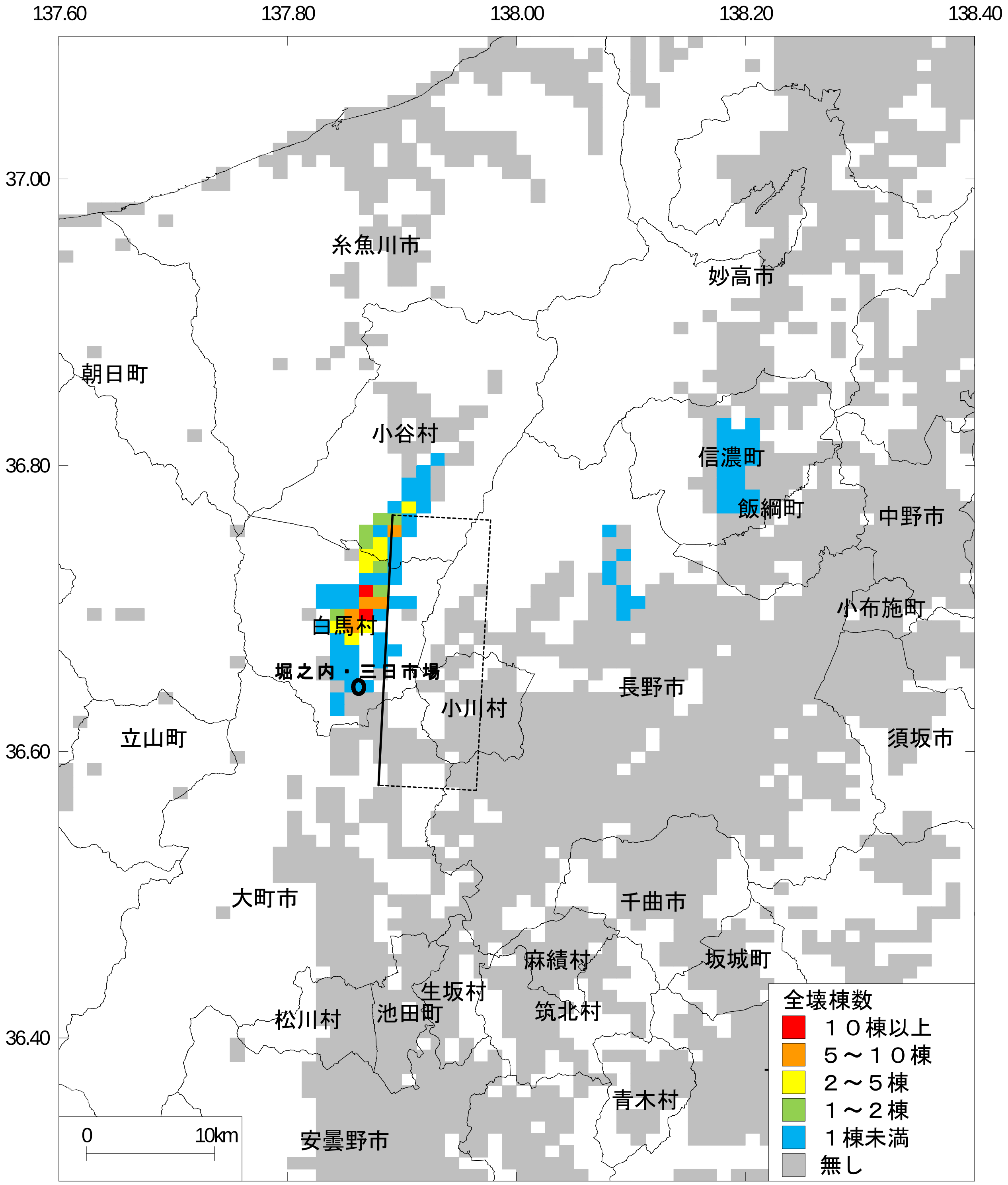


図３－２　本震の最大速度分布から推定した 1km メッシュ別の木造住家の全壊棟数分布

*震源断層は地震規模や余震域から独自に設定したものです。

（３）木造建物モデルの応答解析

長野県神城断層地震の観測波形を用いて、木造建物のモデルを設定し応答計算を実施して、どの程度の被害が発生するか検討してみました。応答計算の模式図を図３－３に示します。木造建物のモデルは２階建を１質点系に模したモデルで様々な耐力を設定し計算を行いました。具体的には、震源に近い K-NET 白馬の観測波形を用いて、降伏耐力を表すせん断力係数 0.1～2.0 まで 0.1 刻みの 20 ケースの値で計算しました。

その計算結果を 1995 年兵庫県南部地震の鷹取駅と 2004 年新潟県中越地震の川口町川口の結果とともに図３－４に示します。グラフの横軸は降伏耐力のせん断力係数の大きさ、縦軸は塑性率といって最大応答変位を降伏変位で割った値で定義し、塑性率と被災度との関係を以下のように独自に仮定をおいて設定しています。

応答計算結果によると、住宅全壊が多く発生した鷹取駅、川口町川口については耐力が弱くなるにつれて、全壊から倒壊となる傾向がみられる一方で、K-NET 白馬では耐力が弱くなっても一部破損程度に留まる結果となっています。この結果は、実際の被害状況とも概ね整合しているといえます。

○塑性率と被災度の関係（仮定）

		塑性率	＜	１	：	無被害
１	≦	塑性率	＜	３	：	一部破損
３	≦	塑性率	＜	６	：	半壊
６	≦	塑性率	＜	１２	：	全壊
１２	≦	塑性率			：	倒壊

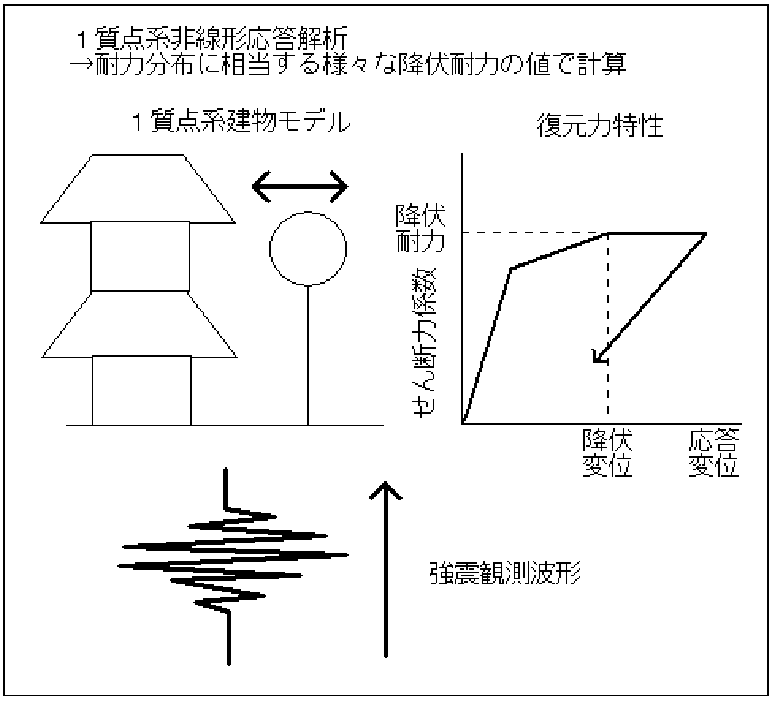


図３－３　強震観測波形による木造建物モデルの応答計算の模式図

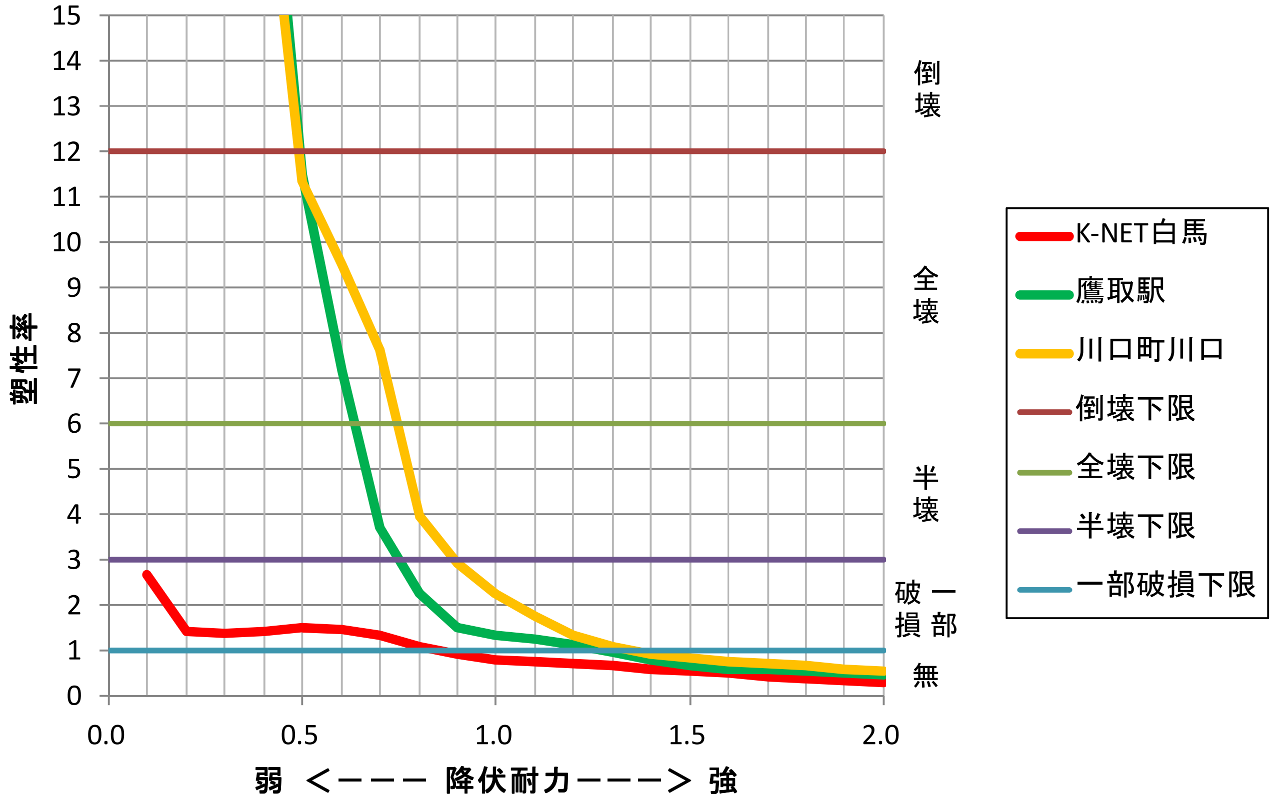


図３－４　観測波形に基づく木造建物モデルの応答計算結果

４．現地調査

４－１　調査概要

（１）目的

長野県神城断層地震において大きな被害が発生した長野県白馬村を対象として、倒壊建物が発生した堀之内地区、三日市場地区を含む村内の複数地点について建物の被害状況を調査しました。さらに、建物の被害と表層地盤の震動特性との関係を確認する目的で常時微動測定も併せて実施しました。

（２）調査日時

平成 26 年 11 月 27 日（木）　6:00　～　14:00

（３）調査地点

以下の白馬村内の５地点で調査を実施しました。図４－１－１には、調査地点位置図を示しました

①白馬村役場周辺　---　白馬村役場には防災科学技術研究所の K-NET 白馬観測点が設置されており、本震では震度５強が記録されています。そこで、観測点周辺の建物の被害状況を調査しました。また、地震観測が実施されていることから、検証も兼ねて、常時微動測定を実施しました。

②城山周辺　---　白馬村北部に位置し、地表に比較的大きな断層変位が確認されています。その近傍で建物の被害状況の調査と常時微動測定を実施しました。

③国道 406 号　---　白馬村役場の東側に位置し、地表に断層変位が確認されています。ここでは、周辺の状況を確認しただけで建物の調査ならびに常時微動測定は実施しておりません。

④堀之内地区　---　白馬村南部に位置し、本震では多くの倒壊建物が発生し、村内で最も大きな被害が発生した地区です。この地区内において建物の被害状況の調査と常時微動測定を実施しました。

⑤三日市場地区　---　堀之内地区の南側に隣接する地区です。ここでも、建物が倒壊し大きな被害が発生しました。この地区内において建物の被害状況の調査と常時微動測定を実施しました。常時微動測定は堀之内地区との違いを確認するため、被害が小さい標高がやや低い場所で実施し、さらに標高が低い下盤側とみられる水田地帯でも実施しました。

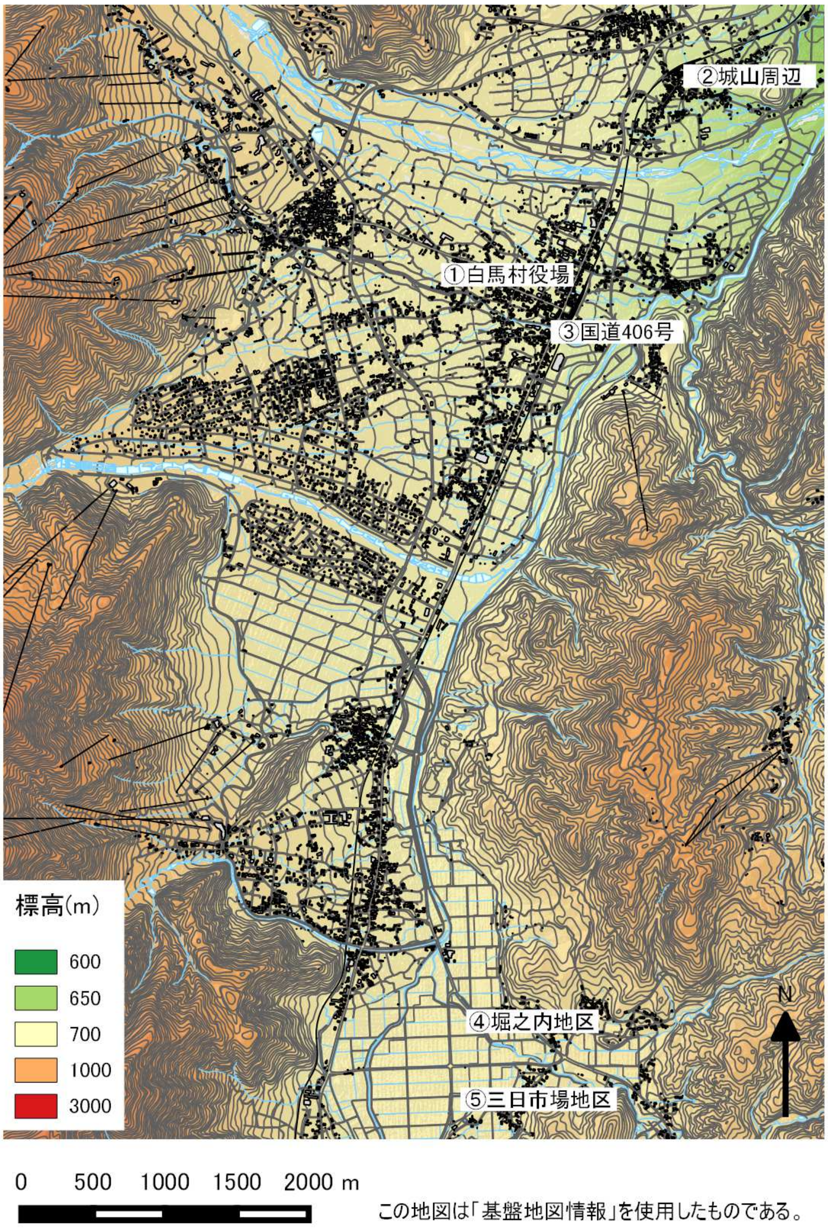


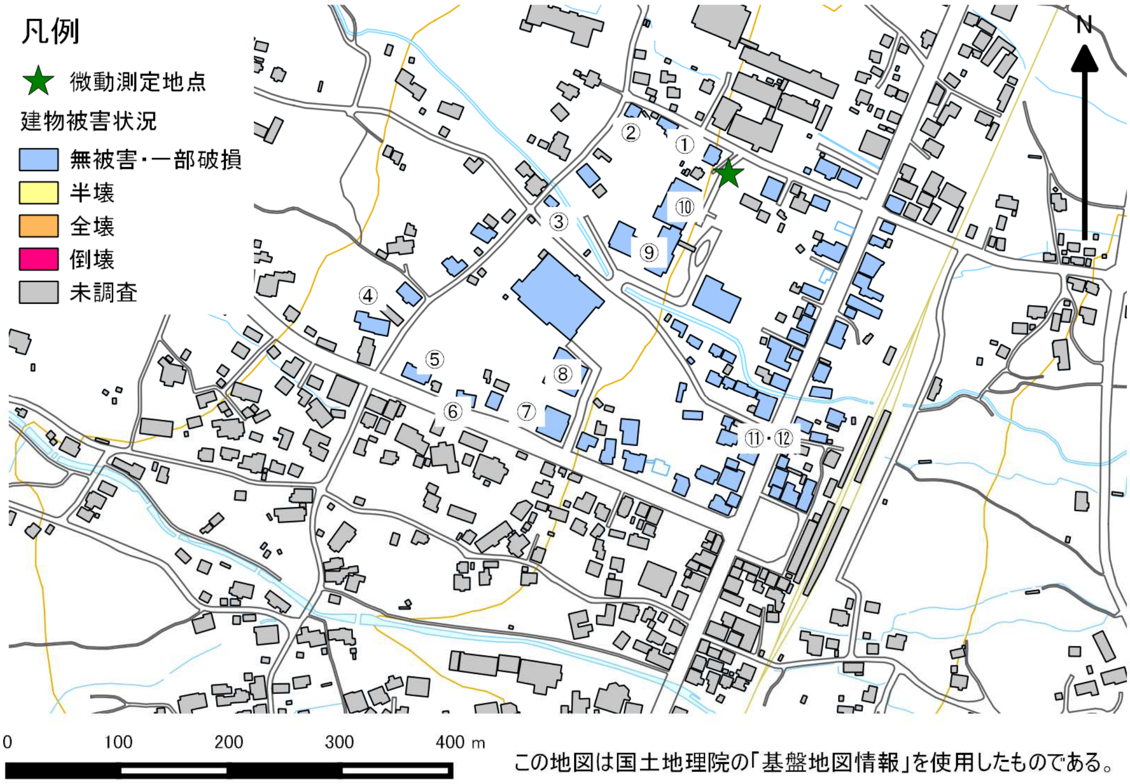
図４－１－１　調査地点位置図

４－２　地点別被害調査報告

（１）　白馬村役場

白馬村役場敷地内に設置している防災科学技術研究所の K-NET 白馬(NGN005)観測点の周辺の建物被害を調査しました。前述したように長野県神城断層地震ではこの地点で震度５強（計測震度 5.4）を記録しています。

観測点の西側や南側では、木造住宅、非木造建物が多く分布していましたが、外観上被害は全くみられませんでした（写真１～10）。東側についても、木造住宅、非木造建物が多く分布し、外観上被害はみられませんでしたが、一部の土蔵にひびが入っているのを確認しました（写真 11・12）。ただし、今回の地震時によるかどうかは不明です。



この地図は国土地理院の「基盤地図情報」を使用したものである。

*図中の丸数字は写真撮影地点と番号。
*被災度判定は罹災証明の結果ではありません。建築の専門でない者が判定を実施したため、参考程度として下さい。

図４－２－１　白馬村役場周辺の被害状況

写真１　強震観測点そばの古い木造建物

写真２　強震観測点西側の古い木造建物

写真３強震観測点西側の新しい木造建物

写真４　強震観測点南西側の古い木造建物

写真５　強震観測点南西側の古い木造建物

写真６　強震観測点南側の新しい木造建物

写真７　強震観測点南側の非木造建物

写真８　 強震観測点南側の非木造建物

写真９　強震観測点南側の非木造建物（役場）

写真 10　強震観測点南側の非木造建物（役場）

写真 11 壁に亀裂の入った土蔵

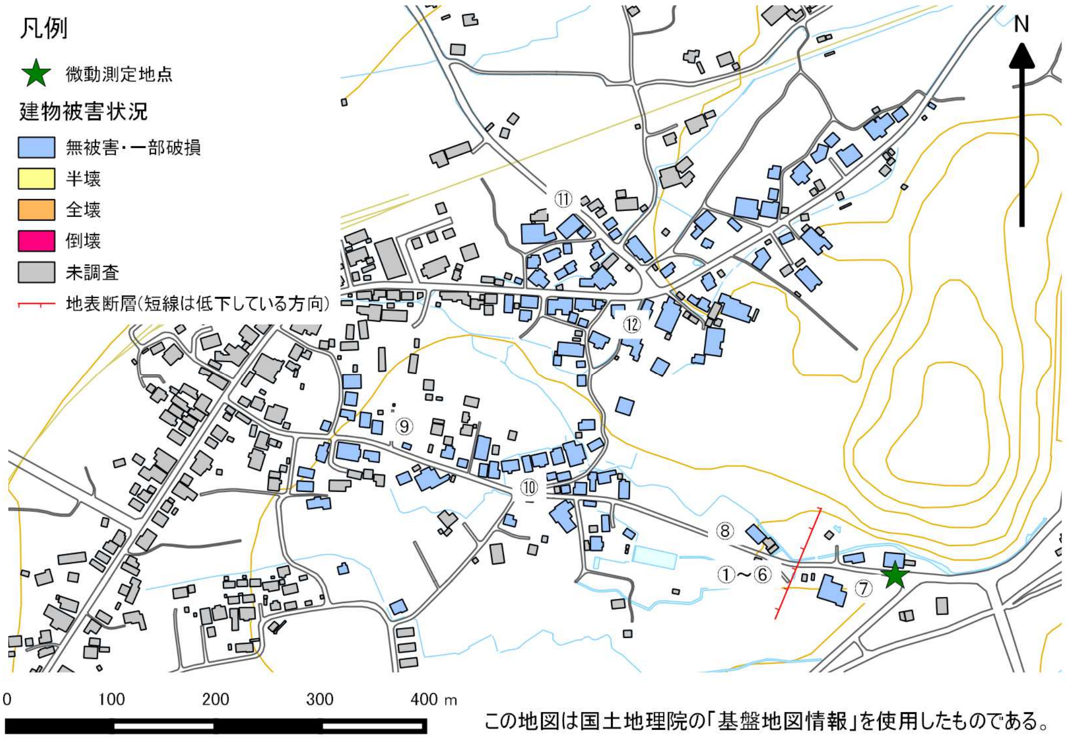
写真 12 亀裂部分の拡大図

（２）城山周辺

城山周辺では松川左岸の沖積面上に、北北東-南南西の走向で地表断層が露出しているのを確認しました。見かけの変位量は、上下が約 75cm で左横ずれ 50cm を伴っていました。地表断層の変位により道路が通行不可能になるとともに、水路を横切って下流側が隆起したために水路を流れる水の一部が道路に溢れていました。

この場所は、都市圏活断層図に点線で描かれた推定活断層の場所から約 200m 東側にずれています。一方、段丘面上の信濃森上駅付近には断層活動によって生じたとみられる東上がりの撓曲状の地形がみられるために都市圏活断層図や糸魚川－静岡構造線系ストリップマップ等に活断層として認定されています。しかし、上記の撓曲状の地形部分をはじめとして目視で判断する限りでは段丘面上には地表断層は確認できませんでした。

城山周辺は今回調査した範囲内では最も地表面に大きな変位が観察された場所ですが、建物被害は外壁の一部が落下するまたは亀裂が見られるほかには顕著な被害は見られませんでした。



*図中の丸数字は写真撮影地点と番号。
*被災度判定は罹災証明の結果ではありません。建築の専門でない者が判定を実施したため、参考程度として下さい。

図４－２－２　城山周辺の被害状況

写真１　断層出現地点

写真２　断層出現地点

写真３　断層出現地点

写真４　断層出現地点

写真５　断層出現地点

写真６　断層出現地点

写真７　断層出現地点すぐ東側の非木造建物

写真８　断層出現地点すぐ西側の非木造建物

写真９　断層出現地点西側の古い木造建物

写真 10 断層出現地点西側の土蔵の壁の落下

写真 11 壁に亀裂が入った木造建物

写真 12 壁の一部が落下した木造建物（土蔵）

（３）　国道 406 号線

国道 406 号線沿いにおいても地表に断層が露出していました。この場所で幅約１m の撓曲状の変形を含みながら東側が約 25cm 隆起していることを確認できました。一方で、この地点においては横ずれは確認できませんでした(写真１・２)。また、断層変位の東側では地盤が変状している箇所があり一部で陥没（写真３）しているほか、この場所でも逆断層性の変位を示唆する短縮性の地盤変状も見られました(写真４)。この付近では建物倒壊などの大きな被害は見られませんでしたが、一部で古い木造建物が基礎石からずれてしまったために使用不可能になる被害（写真５）や土蔵の壁の亀裂（写真６）などの被害がみられました。

*図中の丸数字は写真撮影地点と番号。
*ここでは被災度判定は実施していません。

図４－２－３　国道 406 号線沿いの状況

写真１　地表断層露出地点と木造建物

写真２　撓曲を伴いながら東（左）側が隆起

写真３　地盤変状地点

写真４　短縮性の地盤変状

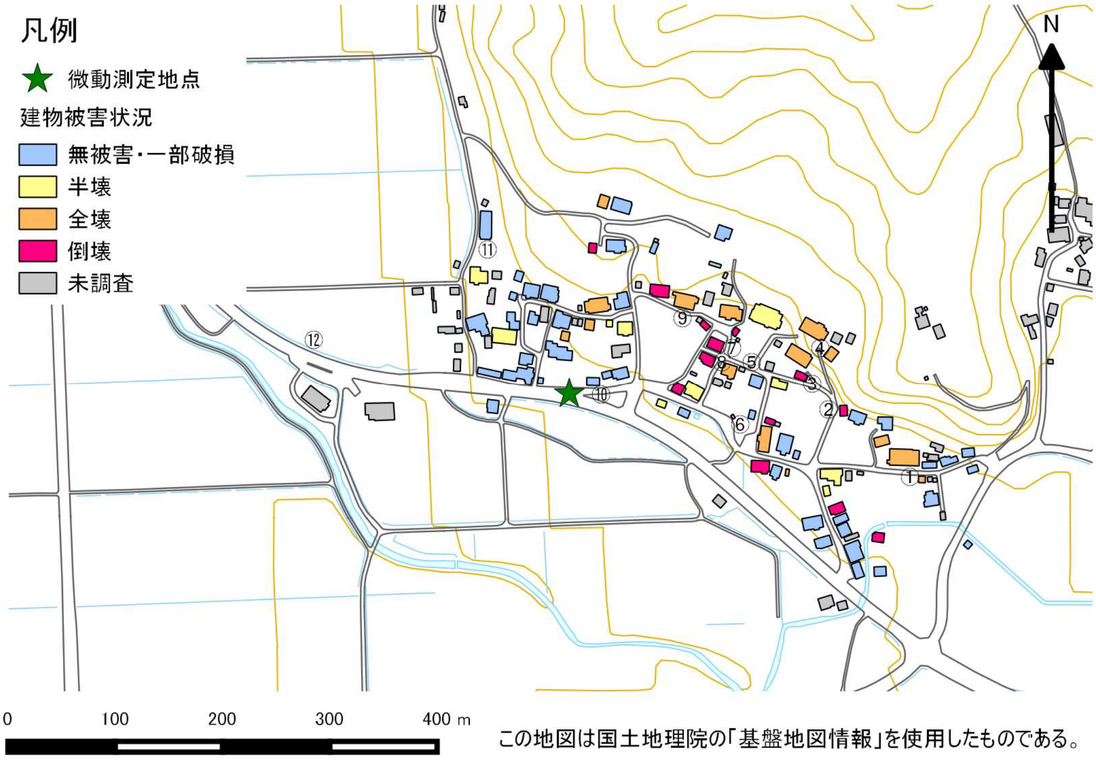
写真５　古い木造住宅の基礎のずれ

写真６　 土蔵の壁の亀裂

（４）堀之内地区

堀之内地区では、地区の中部にある公民館周辺に被害が集中していました（写真１～９）。倒壊家屋の多くが屋根は原形を留めていましたが、建物の１階部分が大きく変形しているものが多くみられました。倒壊家屋の大部分は築 50 年以上が経過したと思われる古い家屋である一方で、近隣に建っている比較的新しい家屋には外観上被害が見られない場所も見られました（写真５）。一方で、比較的新しい家屋で、家屋そのものには被害が見られなくても基礎付近の地盤が変形するなどして、応急危険度判定で「危険」と判断されている家屋もありました（写真 11）。また、被害が集中している場所付近で、マンホールの浮き上がりや地中から砂が噴出したと思われる痕跡が見られるなど、地盤の液状化現象が発生したと考えられる場所がありました（写真 10）。

堀之内地区の集落から約 200m 西側では、道路沿いのガードレールが曲がるなど地盤が短縮変形したと考えられる場所があり、都市圏活断層図ではこの付近に断層地形が認定されていることなどから、地表断層が露出したと考えられます（写真 12）。



*図中の丸数字は写真撮影地点と番号。
*被災度判定は罹災証明の結果ではありません。建築の専門でない者が判定を実施したため、参考程度として下さい。

図４－２－４　堀之内地区の被害状況

写真１古い木造建物 全壊

写真２ 比較的新しい木造建物 倒壊

写真３古い木造建物 倒壊

写真４ 古い木造建物 全壊

写真５ 新しい木造建物と古い木造建物

写真６ 地区内の墓地、墓石がほぼすべて転倒

写真７　古い木造建物　倒壊

写真８　地区内の墓地、墓石がほぼすべて転倒

写真９　古い木造建物　全壊

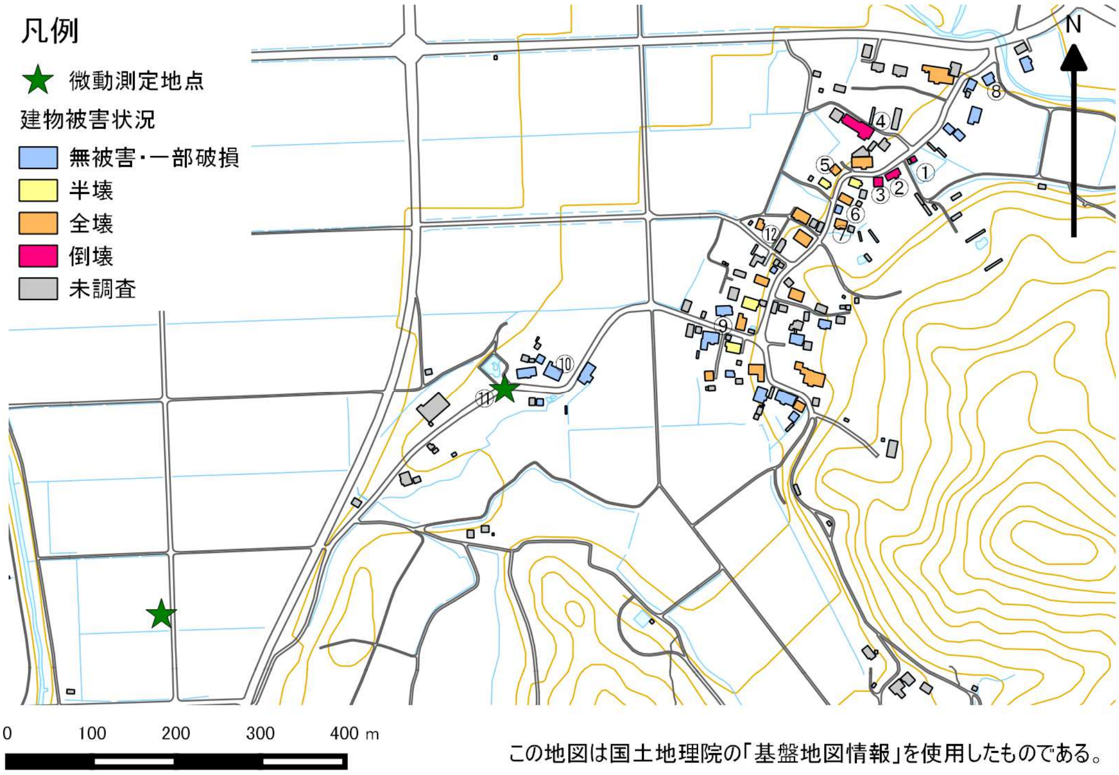
写真 10　噴砂と考えられる痕跡

写真 11　基礎の土留めが崩壊した木造建物

写真 12　断層変位を示唆する短縮性の地盤変動

（５）三日市場地区

堀之内地区同様に、倒壊・全壊・半壊とみられる被害が大きな建物が数多くみられました（写真１～７）。一方で、一部破損以下の大きな被害を免れている建物も多くみられます（写真８～10）。特に、西側の水田地帯に近く標高が相対的に低いところにある木造住宅は、大きな被害はみられませんでした（写真 10）。この場所に近い個所に石碑が複数あり一部が転倒していました（写真 11）が、被害が大きい建物が数多くみられる場所の墓石はほぼ 100%転倒していました（写真 12）。したがって、倒壊している建物や全壊している建物がみられる地域で地震動が局所的に大きかったと推測されます。



*図中の丸数字は写真撮影地点。
*被災度判定は罹災証明の結果ではありません。建築の専門でない者が判定を実施したため、参考程度として下さい。

図４－２－５　堀之内地区の被害状況

写真１　倒壊した古い倉庫

写真２　倒壊した古い車庫

写真３　倒壊した古い土蔵

写真４　倒壊した古い木造住宅

写真５　被害が大きい古い木造住宅

写真６　被害が大きい新しい木造住宅

写真７　被害が大きい古い木造住宅

写真８　被害が小さい新しい木造住宅

写真９　被害が小さい古い木造住宅

写真 10　被害が小さい古い木造住宅(水田付近)

写真 11　西側の水田近くの石碑の状況

写真 12　被害が大きい地域の墓石の状況

４－３　常時微動観測

（１）　概要説明

調査地周辺の表層地盤の震動特性を把握する目的で、白馬村内の 5 地点で常時微動測定を行いました。図４－３－１～図４－３－３に測定地点、表４－３－１に測定に使用した機器、写真 1～5 に測定状況の写真を示します。5 地点のうち、「城山周辺」、「堀之内地区」、「三日市場地区東部」が断層上盤側、「白馬村役場」、「三日市場地区西部」が断層下盤側の地点となります。周辺の建物被害の関係では、「堀之内地区」は被害が大きい地点、「白馬村役場」、「城山周辺」、「三日市場地区東部」（堀之内地区との対比で標高がやや低い地点を選定しました）は被害が小さい地点、「三日市場地区西部」は標高が低い水田地帯で周辺に建物が無く、被害との関係は不明です。

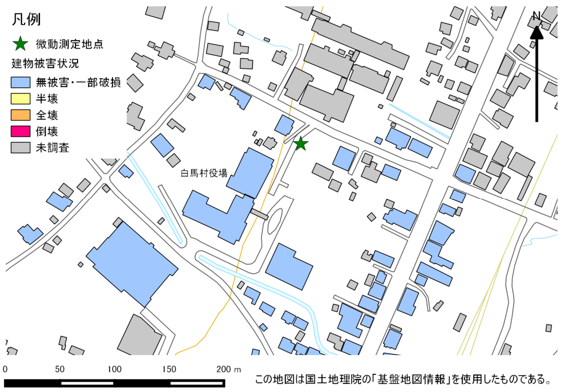


図４－３－１　白馬村役場

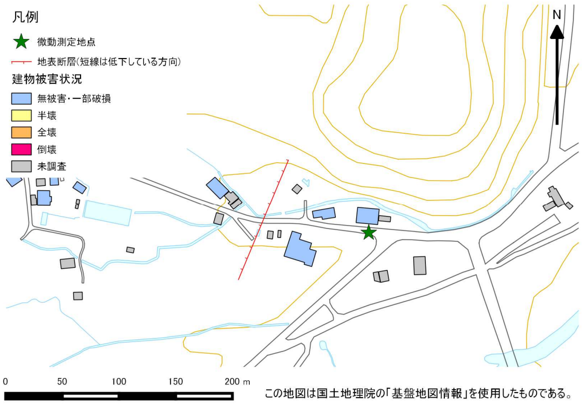


図４－３－２　城山周辺

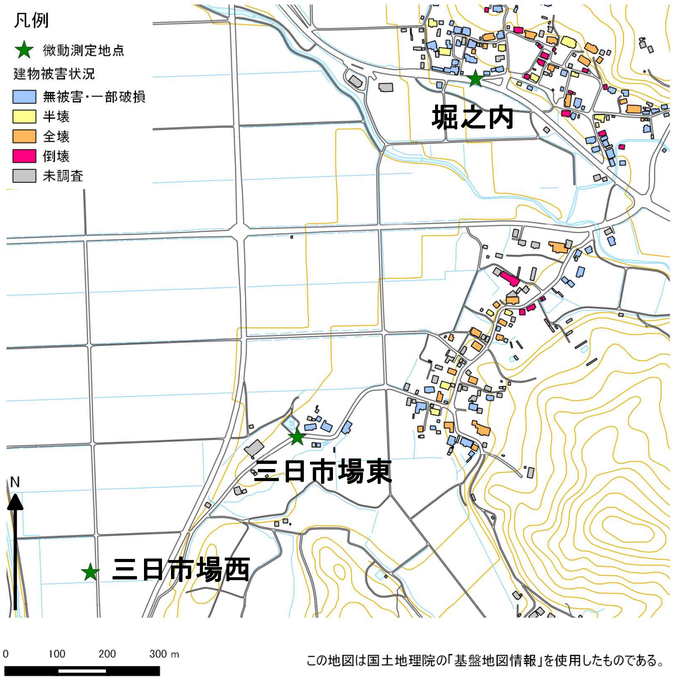


図４－３－３　堀之内地区および三日市場地区

*被災度判定は罹災証明の結果ではありません。建築の専門でない者が判定を実施したため、参考程度として下さい。

表４－３－１　測定機器

コンパクト微動計「びどえる」(応用地震計測株式会社製)	
センサ	3ch 速度センサ（ジオフォン 4.5Hz 速度計　GS-11D)
A/D 分解能	24bit（±10V)
ノイズレベル	70μVrms
サンプリング周波数	100Hz
センサ入力 ch 数	3ch（水平 2 成分、上下 1 成分)
本装置は、構造物の最上階で 3ch 速度センサを利用した微動計測を行い、簡便に構造物の固有周期・減衰定数を演算することを目的としている	

※上記は、取扱説明書より引用
※測定に使用した機器は、本来、建物の常時微動を計測するために開発されたものです。

写真１　白馬村役場（断層下盤側）

写真２　城山周辺（断層上盤側）

写真３　堀之内地区（断層上盤側）

写真４　三日市場地区東部（断層上盤側）

写真５　三日市場地区西部（断層下盤側）

（２） 測定結果

各地点の常時微動測定結果より H/V スペクトルを算定し、表層地盤の震動特性を調査しました。H/V スペクトルとは各成分の波形からフーリエスペクトルを算定し、水平動のフーリエスペクトルと上下動のフーリエスペクトルの比をとったもので、H/V スペクトルの卓越周波数と表層地盤の卓越周波数が概ね整合することが知られています。したがって、H/V スペクトルの卓越周波数が低い値であれば軟弱な地盤、逆に高ければ堅い地盤であると判断できます。

調査地周辺で実施した常時微動測定の結果について、図４－３－４～図４－３－５に各成分の波形記録、図４－３－６に H/V スペクトル一覧、表４－３－２に H/V スペクトルの卓越周波数一覧を示します。また、「白馬村役場」には K-NET 白馬観測点があり地震の観測記録から H/V スペクトルを算定することができますので、地震記録と常時微動の H/V スペクトルを比較した結果を図４－３－７に示しました。

波形記録の特徴としては、いずれの地点においても測定中は付近を通過する車両や人の往来のため、ノイズが混入していることが分かります。特に「堀之内地区」の測定地点は、県道 33 号線のすぐ脇にあり、他の地域よりも通過車両の数が圧倒的に多かったことから、ノイズのレベルも大きくなっています。「三日市場西部」は、測定地点が水田地帯であり、通過車両の多い車道からやや離れていることから、ノイズのレベルは比較的小さくなっています。

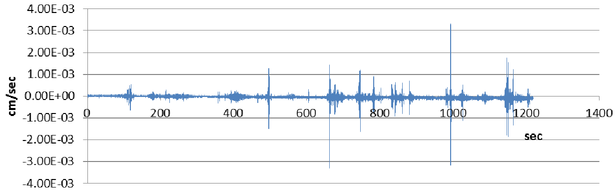
H/V スペクトルの特徴としては、被害が大きい地点である「堀之内地区」の卓越周波数が約 1.3Hz（卓越周期で約 0.8 秒）に対し、被害が小さい地点である「白馬村役場」が 7.1Hz（卓越周期で約 0.1 秒）、「城山周辺」が 2.5Hz（卓越周期で約 0.4 秒）、「三日市場地区東部」が 2.6Hz（卓越周期で約 0.4 秒）であり、明瞭に違いがみられました。したがって、被害が大きい「堀之内地区」は被害が小さい地点と比較して、表層地盤が相対的に軟弱であるといえます。なお、５つの観測点の中では、水田地帯の「三日市場地区西部」の卓越周波数が 1.0Hz と最も低い値を示し、表層地盤が最も軟弱な場所といえますが周辺に建物がないため、被害との関係は不明です。

表４－３－２　各地点における H/V スペクトルの卓越周波数

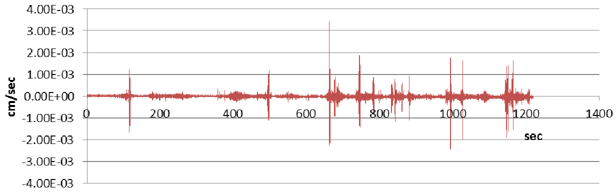
測定地点	卓越周波数
白馬村役場	7.1Hz
城山周辺	2.5Hz
堀之内地区	1.3Hz
三日市場地区東部	2.6Hz
三日市場地区西部	1.0Hz

最後に K-NET 白馬の地震記録と常時微動の H/V スペクトルとの比較では、両者ともピークは不明瞭でレベルがやや異なるものの、両者の卓越周波数は約 7Hz で一致していることを確認しました。

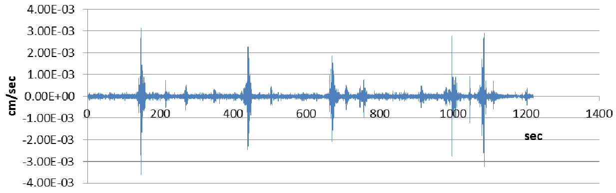
白馬村役場 NS成分



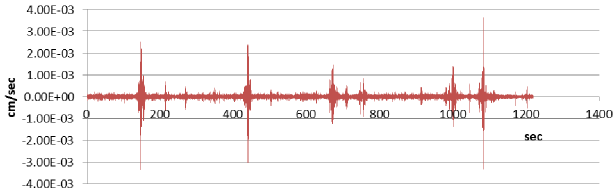
白馬村役場 EW成分



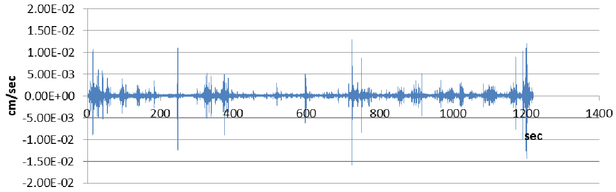
城山周辺 NS成分



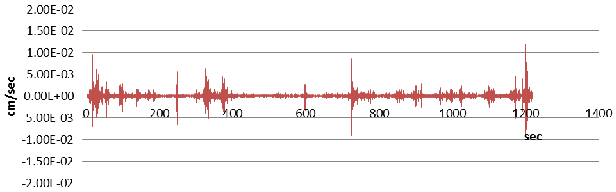
城山周辺 EW成分



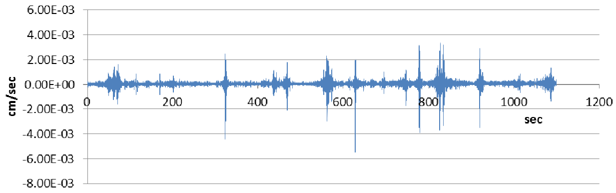
堀之内地区 NS成分



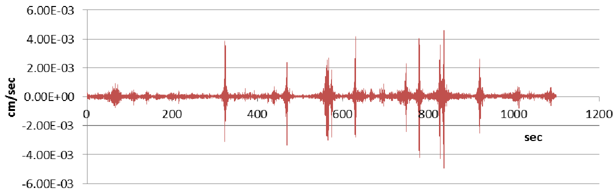
堀之内地区 EW成分



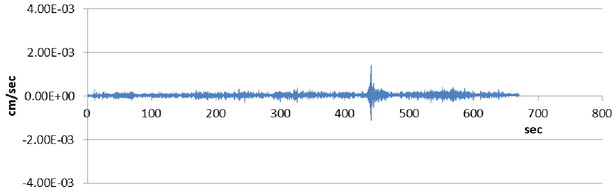
三日市場地区東部 NS成分



三日市場地区東部 EW成分



三日市場地区西部 NS成分



三日市場地区西部 EW成分

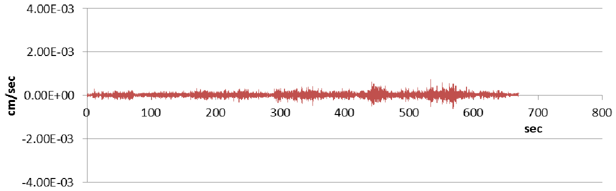
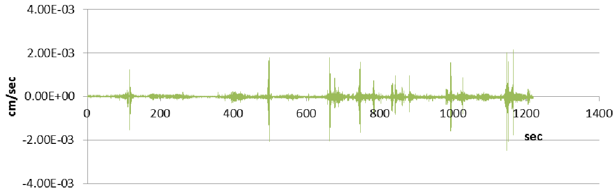
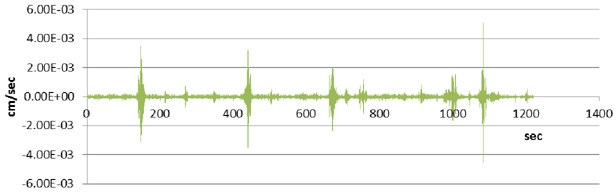


図４－３－４　各地点の常時微動波形一覧（NS 成分、EW 成分）

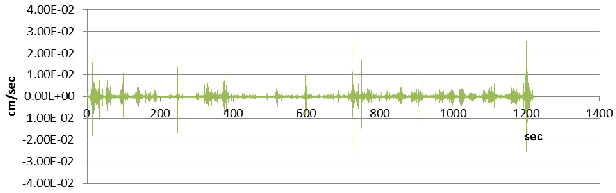
白馬村役場 UD成分



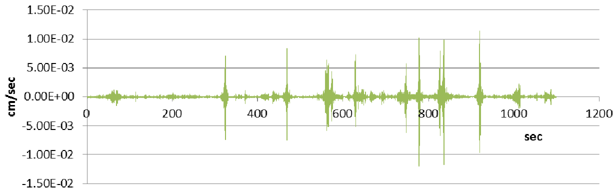
城山周辺 UD成分



堀之内地区 UD成分



三日市場地区東部 UD成分



三日市場地区西部 UD成分

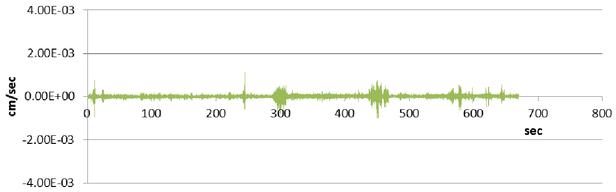


図４－３－５　各地点の常時微動波形一覧（UD 成分）

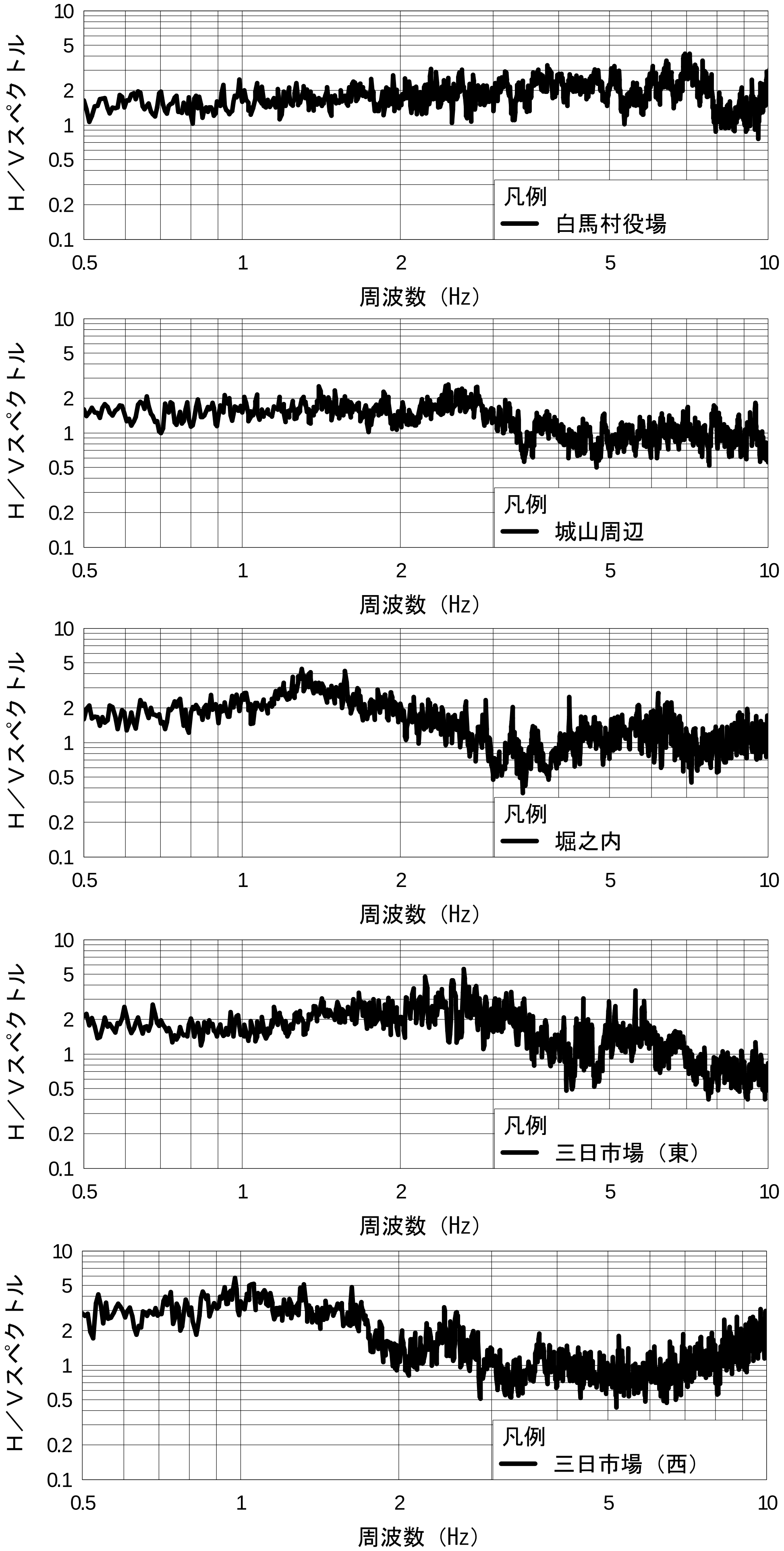


図４－３－６　各測定地点による常時微動H／Vスペクトル一覧

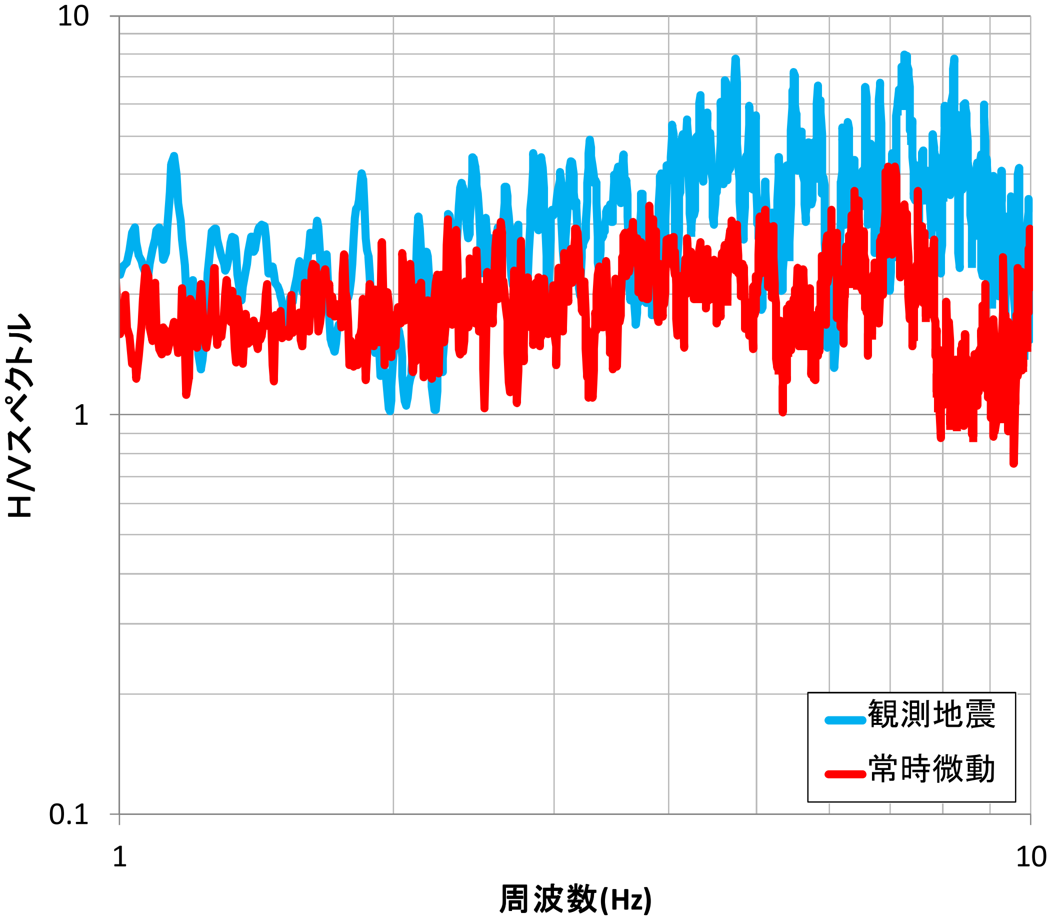


図４－３－７ K-NET 白馬観測点による観測地震と常時微動Ｈ／Ｖスペクトルの比較

＊観測地震は５つの地震の相乗平均の値です。

４－４　堀之内地区、三日市場地区の被害分布

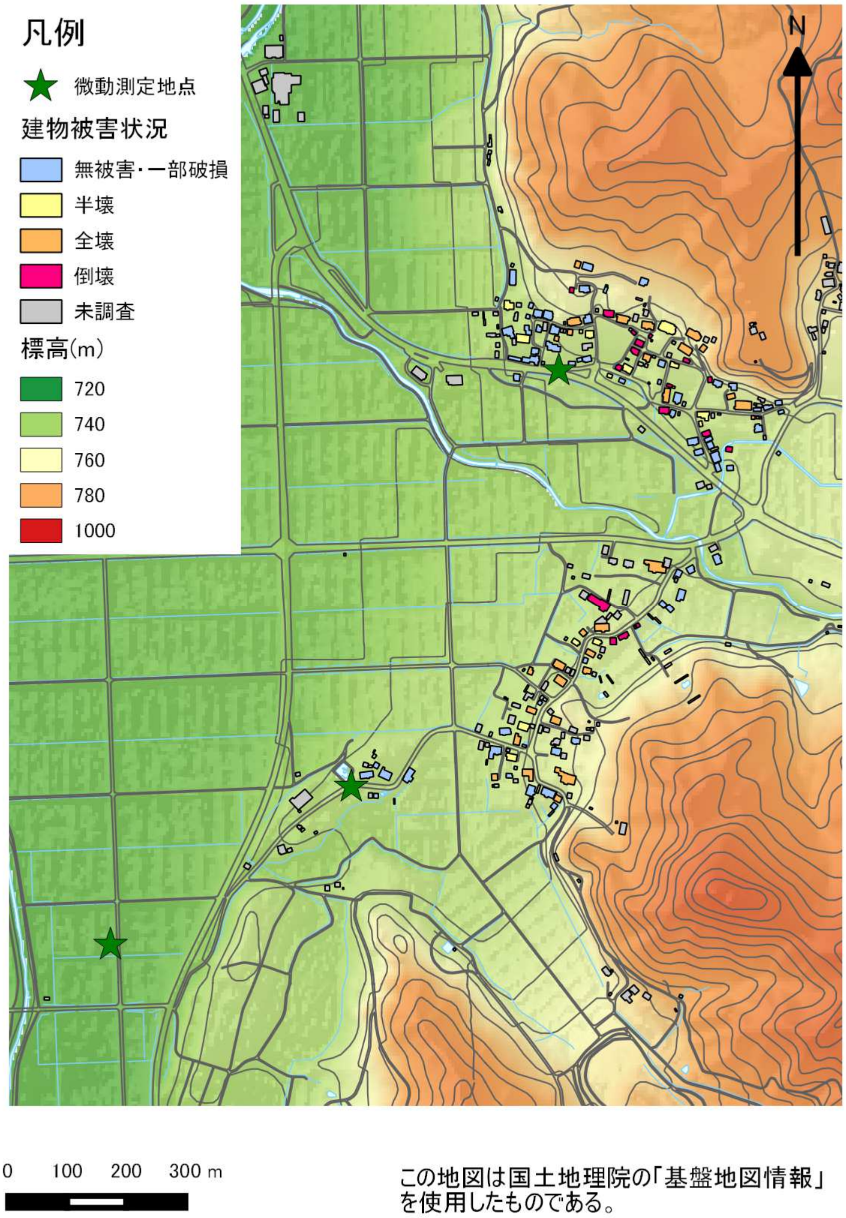
堀之内地区および三日市場地区の建物被害は、標高約 750m 付近にある南北 800m 東西約 300m の帯状の地域に集中しています（図４－４－１参照）。明らかに倒壊している建物は確認できたもので堀之内地区 13 棟（うち住家５棟）、三日市場地区４棟（うち住家１棟）、合計 17 棟（うち、住家６棟）でした。この帯状の地域は、都市圏活断層図中の活断層の線から約 500m 東側に並行しています（図４－４－２参照）。白馬村内においてこの地域以外では、大きな被害は見られなかったことから、この南北 800m 東西約 300m の帯状の地域で局所的に住宅全壊に相関が高い１～２秒の周期帯の地震動が大きかったと推測されます。

この現地調査ではその原因について特定するには至りませんが、考えられる要因として以下の点が挙げられます。

① この地域は山の麓に位置することから深部の基盤の２次元的、３次元的な形状から 1995 年兵庫県南部地震の「震災の帯」のように地震波が集中するフォーカシングのような現象が発生し、地震動が局地的に大きくなった可能性があります。

② 倒壊家屋が発生した堀之内地区の常時微動のＨ／Ｖスペクトルの卓越周波数は 1.3Ｈｚ（卓越周期で約 0.８秒）であり、被害が小さい地点である白馬村役場、城山周辺、三日市場地区東部と比較して明らかに異なり低い値となっています。このことは、堀之内地区の表層地盤が、白馬村役場、城山周辺、三日市場地区東部と比較して相対的に軟弱な地盤であることが示唆されます。また、堀之内地区では液状化のような現象が確認できたことから、本震の強い揺れにより表層地盤が非線形的な挙動を示した可能性があります。つまり、本震の強い揺れにより表層地盤の剛性が低下してさらに軟らかくなり、常時微動で確認された表層地盤の卓越周期が 0.８秒から延びて、住宅が全壊する１～２秒の周期帯とほぼ整合し局地的に被害が大きくなった可能性があります。

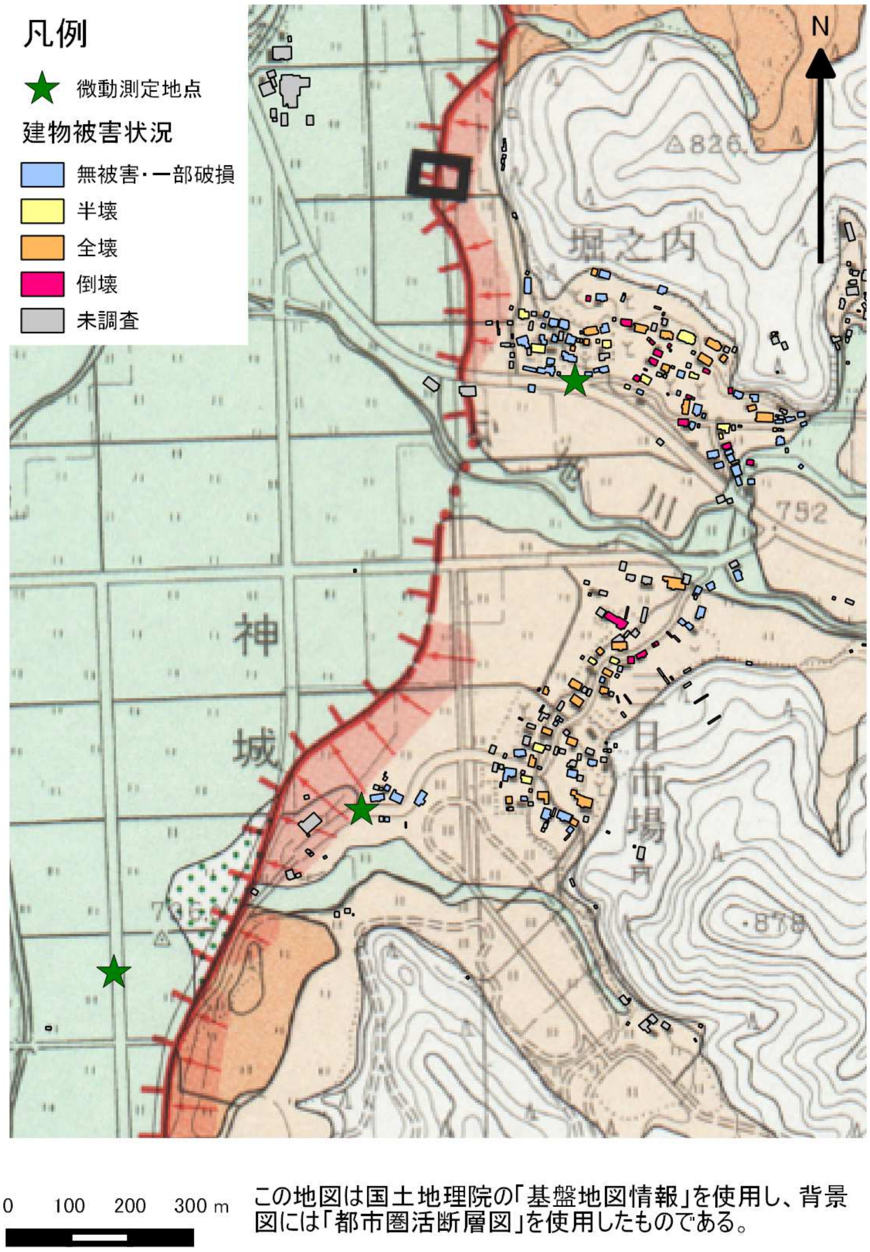
この地域で局地的に住宅被害が大きくなった原因を特定するには、この地域における地震観測および詳細な地盤調査が必要となると思います。



この地図は国土地理院の「基盤地図情報」を使用したものである。

図４－４－１　堀之内地区および三日市場地区の被害分布と標高

*被災度判定は罹災証明の結果ではありません。建築の専門でない者が判定を実施したため、参考程度として下さい。



この地図は国土地理院の「基盤地図情報」を使用し、背景図には「都市圏活断層図」を使用したものである。

図４－４－２　堀之内地区および三日市場地区の被害分布と活断層位置

*被災度判定は罹災証明の結果ではありません。建築の専門でない者が判定を実施したため、参考程度として下さい。

５．まとめ

長野県神城断層地震調査報告の内容について、以下に簡潔にまとめました。

- 気象庁による観測点において本震の最大震度は６弱で４地点で記録しました。防災科学技術研究所による強震観測点の波形データを利用して、面的な地震動分布を予測したところ、震度で震度６弱、最大速度で 50～100kine のメッシュが白馬村の中央部から小谷村の南部にかけて分布する結果が得られました。しかしながら、被害が大きかった堀之内地区、三日市場地区はその分布からは外れていました。また、地震動が相対的に大きい地域は、深部地盤の増幅に相関が高いとされるＳ波速度 1400m/s 相当層の上面深度が深い地域と概ね対応していることが分かりました。
- 公開情報に基づいて作成した 1km メッシュ木造住家建物データを用いて、上記の面的な地震動分布より本震による木造住家の被害を予測しました。その結果、計測震度の被害関数で住家全壊７棟、最大速度の被害関数で住家全壊 112 棟となりました。実際の住家全壊は現時点で 33 棟ですので、予測値の幅の範囲に収まる結果となりました。しかしながら、被害が大きいメッシュは地震動予測と同様に白馬村の中央部から小谷村の南部にかけて分布する結果となったので、堀之内地区、三日市場地区は外れていました。
- 防災科学技術研究所の強震観測点のうち、本震による最も揺れが大きい K-NET 白馬観測点の波形を用いて、木造住宅建物モデルを設定して応答解析を実施したところ、耐力が弱い建物でも一部破損以下の被害に留まる結果となりました。これは、K-NET 白馬観測点の波形が過去の被害地震で住宅被害が大きかった地点の波形と比較して、住宅全壊に相関が高いとされる１～２秒の周期帯のレベルがかなり低いためと推測できます。この結果は、実際の被害状況とも整合していました。
- 白馬村にて複数の地点で現地調査を実施した結果、堀之内地区、三日市場地区以外では建物の大きな被害を確認することができませんでした。白馬村北部の城山周辺では、比較的大きな断層変位を地表で確認することができましたが、その周辺の建物にも大きな被害を確認することができませんでした。
- 堀之内地区、三日市場地区で実施した建物被害調査の結果、被害が大きな地域は南北約 800m、東西約 300m の帯状の分布になることが分かりました。この地域では墓石がほぼ 100%転倒したり、液状化が発生したような状況が確認できました。
- 白馬村にて複数の地点で常時微動測定を実施した結果、被害が大きい堀之内地区ではＨ/Ｖスペクトルの卓越周波数が 1.3Hz と被害が小さい地点である白馬村役場、城山周辺と比較して、明らかに低くなっていることを確認しました。また、近傍の三日市場地区の標高がやや低い、住宅被害が小さい地点でのＨ/Ｖスペクトルの卓越周波数は 2.6Hz でしたので、被害が発生した地域には軟弱な地盤がある程度堆積していることが予想されます。
- 堀之内地区、三日市場地区で大きな住宅被害が集中した要因としては、1)深部地盤の２次元的、３次元的な形状による地震波のフォーカシング、2)軟弱な表層地盤による非線形の挙動、の影響が考えられます。原因を特定するには現地における地震観測、詳細な地盤調査が必要になると思います。

謝辞

解析には、防災科学技術研究所 K-NET および KiK-net、鉄道総合技術研究所、気象庁・新潟県の強震記録を利用させていただきました。常時微動の測定には、応用地震計測株式会社のご厚意により、コンパクト微動計「びどえる」を使用させていただきました。ここに記して謝意を表します。